Salvador Rovira Llorens
Manuel García-Heras
Marc Gener Moret
Ignacio Montero Ruiz (eds.)

ACTAS

VII CONGRESO IBÉRICO DE ARQUEOMETRÍA

Madrid, 8-10 de octubre 2007

CSIC
MUSEO ARQUEOLÓGICO NACIONAL
PARQUE CIENTÍFICO DE MADRID
AÑO de la CIENCIA 2007
MINISTERIO DE CULTURA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

© 2008, de la obra: los editores

© 2008, de cada artículo: sus autores

Editores
Salvador Rovira Llorens
Manuel García-Heras
Marc Gener Moret
Ignacio Montero Ruiz

Diseño y maquetación
Quadro
Plaza de Clarín, 7 • 28523 Rivas Vaciamadrid (Madrid)

Imagen de portada
Noelia Calzada

Edición electrónica
Quadro
Plaza de Clarín, 7 • 28523 Rivas Vaciamadrid (Madrid)

ISBN
978-84-612-8598-3

Presentación

La celebración del *VII Congreso Ibérico de Arqueometría* en Madrid, organizado por el Departamento de Prehistoria del Instituto de Historia, CSIC, y el Museo Arqueológico Nacional (MAN), coincidió con el 50 aniversario de creación del primero, la remodelación del área de Ciencias Humanas y Sociales del CSIC mediante la agrupación de todos sus institutos de Madrid en un nuevo Centro (CCHS) con sede en la calle Albasanz, y el inicio de la reforma del MAN destinada a ampliar sus espacios y a renovar sus contenidos museográficos. Cuando dos años antes ofrecimos la candidatura para organizar el Congreso, aunque ya conocíamos los planes de futuro de ambas instituciones, no pensábamos que llegasen a coincidir en el tiempo. En este contexto de transición el Congreso puso de manifiesto la solidez de la cooperación institucional que existe entre el CSIC y el MAN, y gracias a las nuevas tecnologías hoy en día disponibles todo el proceso de gestión ha sido más fácil. Fue una apuesta de la organización utilizar únicamente los medios electrónicos, tanto para la difusión del evento, como para los procesos de inscripción y comunicación con los participantes, aprovechando la experiencia y la información del anterior Congreso organizado en Girona en 2005.

También en la coordinación de la publicación que ahora presentamos, la comunicación electrónica ha jugado un papel fundamental, y el formato de libro electrónico elegido representa esa apuesta por el futuro en la difusión de la Ciencia como es la *world wide web (www).* Los que nos dedicamos a la investigación constatamos cada día cómo los recursos electrónicos se han convertido en nuestra herramienta principal para la obtención de información y cómo los trabajos disponibles en red adquieren mayor impacto y mayor difusión que el libro o las revistas impresas tradicionales. Gracias a la creación del repositorio *open-access* que el CSIC ha puesto al servicio de sus investigadores, disponemos de una plataforma estable para este libro electrónico, que puede descargarse en distintas modalidades (completo, por sesiones o por capítulos individuales). De esta forma aseguramos su difusión global. Además, al exigir a los autores el cumplimiento de unas normas de publicación que incluyen título, resumen y palabras clave en dos idiomas (español e inglés) posibilitamos, mediante los sistemas de búsqueda, la identificación y diseminación de los trabajos a un colectivo más amplio.

El Congreso recibió inicialmente 109 propuestas de participación, lo que lo convierte, en comparación con las seis ediciones anteriores, en la edición con mayor número de participantes celebrada hasta la fecha. Además, este crecimiento se constata en todos los campos de actuación en los que normalmente se divide la Arqueometría. Por tanto, estos datos ponen de manifiesto el gran interés que la disciplina arqueométrica despierta en la actualidad en la comunidad científica ibérica y sin duda refleja un notable desarrollo de la Arqueometría en la última década, sobre todo, si se tienen en cuenta los 23 trabajos que se presentaron en el primer congreso celebrado en Granada en 1995. El elevado número de propuestas obligó a diseñar un programa en el que dar cabida a la mayor cantidad posible de intervenciones pero sin

renunciar a un mínimo de tiempo razonable para cada comunicación oral. En consecuencia se optó por repartir las presentaciones en formato oral y en póster, y organizar en el horario de tarde sesiones paralelas con temas muy diferenciados para evitar, en la medida de lo posible, la coincidencia de intereses. En este sentido queremos agradecer a los participantes su colaboración al aceptar las propuestas realizadas por el Comité Organizador, quien tomó su decisión tras recibir las opiniones de los diferentes miembros del Comité Científico, sobre el reparto en el formato de presentación. De las 54 comunicaciones orales, sólo en cinco de ellas los autores no pudieron realizar la presentación, pero al avisar con antelación pudo adaptarse el programa editado y los asistentes conocer las incidencias horarias. En cuanto a los póster, de los 55 previstos, finalmente se expusieron 43 de ellos, y se dedicó toda una sesión de la mañana a una presentación y comentario público sobre sus contenidos que fue dirigido por diferentes miembros del Comité Científico. Asimismo, con el propósito de animar las discusiones y ofrecer una visión de otras tradiciones en las que los estudios arqueométricos cuentan ya con décadas de desarrollo, la organización invitó a tres conferenciantes destacados en este campo: los Dres. Paul Craddock (British Museum, Londres, Reino Unido), Ronald L. Bishop (National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington D.C., EE.UU.) y Marcos Martinón Torres (Instituto de Arqueología, UCL, Londres, Reino Unido).

La organización del Congreso también reservó una sesión de mañana para una mesa redonda sobre el futuro de la Arqueometría en España. Este tiempo de debate público sirvió para constatar la necesidad de una mayor institucionalización de la Arqueometría y la escasez de oferta formadora para las nuevas generaciones, cuya presencia en el Congreso, sin embargo, fue bastante notable: de los 150 asistentes registrados, más de medio centenar de inscripciones fueron de estudiantes, y de entre ellas una veintena se inscribieron como oyentes.

Sobre el nivel científico del Congreso quedará como prueba la edición de estas Actas que recogen 61 de los 92 trabajos que se presentaron, ya que algunos de ellos han aparecido ya publicados en otras revistas nacionales e internacionales. Los editores decidimos que, como toda publicación científica que se precie, los trabajos debían ser revisados para garantizar una calidad mínima a los contenidos tanto en los aspectos fundamentales como los formales. En esta labor debemos agradecer el esfuerzo realizado por los miembros del Comité Científico y otra serie de revisores externos al Congreso por su colaboración desinteresada. También debemos agradecer a los autores el cumplimiento del calendario de edición previsto y la aceptación de los cambios sugeridos, que han permitido que podamos presentar públicamente este libro casi un año después de celebrarse el Congreso. Con ello consideramos que podemos dar por concluida nuestra labor al encargarnos de la organización de la VII edición, dejando en manos de los organizadores de la VIII edición la continuidad y consolidación de estas reuniones.

Por último debemos recordar y agradecer a las diferentes instituciones que han colaborado y subvencionado el Congreso, porque sin ellas la tarea hubiera sido más difícil, si no directamente imposible de culminar. Tanto el **Ministerio de Educación y Ciencia** (Ref. HUM2007-29208-E/HIST) como el **Consejo Superior de Investigaciones Científicas** y la **Comunidad Autónoma de Madrid** aprobaron subvenciones en sus respectivas Convocatorias de ayudas para la financiación de congresos. El **Museo Arqueológico Nacional** aportó las salas de conferencias y subvencionó los catering, mientras que el **Parque Científico de Madrid** suministró material de oficina para los asistentes. Además, varias empresas ofrecieron demostraciones prácticas de distintos equipos de medida a los asistentes durante el transcurso del Congreso. Igualmente, se agradece su colaboración desde estas líneas. La organización contó con el apoyo de la **Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural** del CSIC y el Congreso fue incluido dentro de las actividades del **Año de la Ciencia 2007**. Asimismo, queremos agradecer a los miembros del Comité Organizador y Científico toda la colaboración prestada en el desarrollo del Congreso ya que su

contribución ha ido mucho más allá del papel testimonial que suele ser la norma en estos casos, como bien se ha podido apreciar en la lectura de esta presentación. A ellos les corresponde una buena parte del mérito en la organización y edición de las Actas del *VII Congreso Ibérico de Arqueometría.* También queremos agradecer a todo el conjunto de personas del CSIC y del MAN que colaboraron en diversas tareas logísticas durante los días de celebración del Congreso por su ayuda. Finalmente, agradecer la labor de Noelia Calzada, quien se encargó del diseño gráfico de este Congreso.

Madrid, 14 de agosto de 2008

Salvador Rovira Llorens
Manuel García-Heras
Marc Gener Moret
Ignacio Montero Ruiz

Indice general

Presentación 3

ÍNDICES

Indice general 6

Indice de autores 11

Indice geográfico y toponímico 15

PONENCIAS VII CONGRESO IBÉRICO DE ARQUEOMETRÍA

General 18

Línea española SpLine de radiación sincrotrón. Posibles aplicaciones en arqueometría. ANA GUTIÉRREZ-LEÓN, JUAN RUBIO-ZUAZO, GERMÁN. R. CASTRO 19

Tras el fuego de los Neandertales. Química orgánica aplicada al estudio de las estructuras de combustión del yacimiento Musteriense de El Salt (Alcoy, Alicante). R.J. MARCH, R. DORTA PÉREZ, A. SISTIAGA GUTIÉRREZ, B. GALVÁN SANTOS, C.M. HERNÁNDEZ GÓMEZ 28

Investigaciones sobre recursos abióticos en la Prehistoria Reciente de Tierra de Barros y Sierra Morena Occidental. J.J. ALMARZA LÓPEZ, J. CASTAIGN, M.E. COSTA CARAMÉ, M. FORTEZA GONZÁLEZ, Mª.J. HERNANDEZ ARNEDO, M. HUNT ORTIZ, V. HURTADO PÉREZ, C. ODRIOZOLA LLORET, A. POLVORINOS DEL RÍO 42

Desde la otra orilla: presencia de la arqueometría en Latinoamérica y su relación con España. AIXA SOLANGE VIDAL 52

S1 Biomateriales 63

La fracturación y fragmentación de huesos largos durante el Paleolítico. Una aproximación teórica y metodológica. JUAN VICENTE MORALES PÉREZ, JEAN-PHILIP BRUGAL, MANUEL PÉREZ RIPOLL, BERTILA GALVÁN SANTOS, CRISTO HERNÁNDEZ 64

Crisis climáticas en la Prehistoria de la Península Ibérica: El evento 8200 cal. Bp como modelo. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SÁEZ, LOURDES LÓPEZ MERINO, SEBASTIÁN PÉREZ DÍAZ 77

Estudio geoarqueológico de la Vega de Sevilla. Reconstrucción paleogeográfica del sector interno del estuario del Guadalquivir durante el Holoceno. F. BORJA, M. HUNT, J.L. UBERA, C. ZAZO, C.J. DABRIO, J.L. GOY, M.A. BARRAL, Y. LLERGO, C. BORJA 87

Estudios preliminares de la diversidad microbiana y análisis de imagen de las manifestaciones parietales en los abrigos de Fuente del Trucho y de Muriecho L (Colungo, Huesca). M.C. PORTILLO GUISADO, M.A. ROGERIO CANDELERA, J.M. GONZÁLEZ GRAU, C. SAIZ-JIMENEZ 97

Consideraciones metodológicas y técnicas sobre la obtención de muestras en restos dentarios de ungulados para la medición isotópica. Ejemplos de tell Halula 7700-7000 cal ANE (Valle Medio del Éufrates, Siria). CARLOS TORNERO, MARIA SAÑA 108

Aportaciones al estudio del paisaje vegetal y las condiciones climáticas en tell Halula (valle Medio del río Éufrates, Siria) durante el 7800-7000 cal ANE: valores δC^{13} y δO^{18} del CO_3 de la bioapatita del esmalte dentario de Gazella subgutturosa. CARLOS TORNERO, MARIA SAÑA 121

Análisis e identificación de objetos orgánicos de la necrópolis de la Edad del Bronce de Opatów (Polonia). MAGDALENA MOSKAL, ERNESTINA BADAL 136

Lo real y lo imaginario. El proyecto Hum2004-04939 sobre la flora en el Mundo Ibérico. ERNESTINA BADAL GARCÍA, HELENA BONET ROSADO, EVA COLLADO MATAIX, FRANCISCO JAVIER FABADO ALÓS, MERCEDES FUENTES ALBERO, ISABEL IZQUIERDO PERAILE, CONSUELO MATA PARREÑO, ANDREA MORENO MARTÍN, MARÍA NTINOU, DAVID QUIXAL SANTOS, PERE PAU RIPOLLÈS ALEGRE, LUCÍA SORIA COMBADIERA 144

La integración de los materiales arqueobotánicos en el estudio funcional y espacial de la ciudad Celtibérica de Segeda. GUILLEM PÉREZ JORDÀ, YOLANDA CARRIÓN MARCO, AMPARO VALCARCEL, FRANCISCO BURILLO 158

Rasgos medioambientales y aprovechamiento de los recursos leñosos en la vega del Segura durante el siglo I d.C. MARÍA SOLEDAD GARCÍA MARTÍNEZ, GONZALO MATILLA SÉIQUER 169

La madera y las fibras vegetales en la vida cotidiana medieval. El ejemplo de la habitación 34 de l'Esquerda (Masies de Roda-Roda de Ter, Barcelona). CARMEN CUBERO CORPAS 180

Arqueometría de los tejidos coptos: las colecciones españolas. ANA CABRERA, LAURA RODRÍGUEZ, ENRIQUE PARRA, PILAR BORREGO, LUIS TURELL 190

S2 Datación 203

Datación absoluta por Luminiscencia de material arqueológico: una experiencia ibérica de calibración inter-laboratorios. D. FERNÁNDEZ MOSQUERA, M.I. DIAS, J. SANJURJO SÁNCHEZ, D. FRANCO, G. CARDOSO, M.I. PRUDÊNCIO 204

Datación por técnicas luminiscentes de la tumba 3 y el conjunto campaniforme de La Pijotilla (Badajoz, España). CARLOS P. ODRIOZOLA, VÍCTOR HURTADO PÉREZ, M. ISABEL DIAS, M. ISABEL PRUDÊNCIO 211

Dataciones radiocarbónicas de las Necrópolis de la Edad de Bronce, SE-K, SE-B y Jardín de Alá (términos municipales de Salteras y Gerena, Sevilla). MARK A. HUNT ORTIZ, JACOBO VÁZQUEZ PAZ, DANIEL GARCÍA RIVERO, JUAN C. PECERO ESPÍN 226

S3 Cerámica y vidrio 235

Archaeological Ceramics and Scientific Practice. RONALD L. BISHOP 236

Análisis elemental y cromático de cerámica prehistórica del área Ulla-Deza (NW de la Península Ibérica). ANTONIO MARTÍNEZ-CORTIZAS, BEATRIZ PRIETO-LAMAS, ÓSCAR LANTES-SUÁREZ, Mª PILAR PRIETO-MARTÍNEZ 250

Caracterización de los materiales cerámicos de alfares de época celtibérica del Sistema Ibérico Central. Mª ESPERANZA SAIZ CARRASCO, FRANCISCO BURILLO MOZOTA, JESÚS IGEA ROMERA, PILAR LAPUENTE MERCADAL, JOSEFINA PÉREZ-ARANTEGUI 265

Producción cerámica en Las Médulas (León). Una comparación diacrónica a través de métodos arqueométricos. N. CARMONA, M. GARCÍA-HERAS, M.A. VILLEGAS, M.D. FERNÁNDEZ-POSSE, F.J. SÁNCHEZ-PALENCIA 277

Sello o marcador microestructural en las cerámicas de "terra sigillata". JESUS Mª RINCON 288

Las cerámicas de cocción reductora del yacimiento de L'Esquerda (Roda de Ter, Barcelona). ANNA GUTIÉRREZ GARCIA-MORENO, IMMA OLLICH CASTANYER, MONTSERRAT DE ROCAFIGUERA ESPONA 297

Análisis cuantitativo de la composición de los vidriados de Della Robbia de Sevilla con un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X. A. GIANONCELLI, J. CASTAING, A. BOUQUILLON, A. POLVORINOS, P. WALTER 309

Análisis de vidrios romanos del yacimiento de La Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid). N. CARMONA, M.A. VILLEGAS, M.A. CASTELLANOS, I. MONTERO, M. GARCÍA-HERAS 319

S3 Lítico 329

Las propiedades mecánicas de los artefactos macrolíticos: una base metodológica para el análisis funcional. SELINA DELGADO RAACK, DAVID GÓMEZ GRAS, ROBERTO RISCH 330

Caracterización y gestión de materias primas en los asentamientos pleistocenos al aire libre de la Sierra de Atapuerca (Burgos). MARTA NAVAZO; ALVARO COLINA; SALVADOR DOMÍNGUEZ, ALFONSO BENITO 346

Materias primas, áreas de captación y tecnología de las sociedades del Paleolítico. El río Palmones (Los Barrios, Cádiz). VICENTE CASTAÑEDA FERNÁNDEZ, SALVADOR DOMÍNGUEZ-BELLA 360

Propuesta de caracterización de los recursos silíceos en posición secundaria: las terrazas del Éufrates y su explotación durante el VIIII y VII milenios cal. BC. FERRAN BORRELL TENA 368

Estudio arqueométrico de las láminas de sílex procedentes de la Tumba III del yacimiento de La Pijotilla (Badajoz). A. POLVORINOS, M.J. HERNÁNDEZ, J. ALMARZA, M. FORTEZA, J. CASTAING, V. HURTADO 379

Estudio PIXE y PIGE de gemas en el tesoro de Torredonjimeno. P.C. GUTIÉRREZ, A. PEREA, M.D. YNSA, A. CLIMENT-FONT 390

S3 Metales 397

Estado actual de la investigación arqueometalúrgica en España: una aproximación bibliométrica. MANUEL ELEAZAR COSTA CARAMÉ 398

La investigación arqueométrica sobre la metalurgia de Galicia: una aproximación a su trayectoria y estado actual. XOSÉ-LOIS ARMADA PITA, BEATRIZ COMENDADOR REY, ÓSCAR GARCÍA VUELTA . . 410

La funcionalidad sobre material metálico. Bases y aplicaciones de estudio. CARMEN GUTIÉRREZ SÁEZ, IGNACIO SORIANO LLOPIS 432

Caracterización elemental e isotópica de bronces de la necrópolis protohistórica Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona). M. CARME ROVIRA HORTALÀ, MARK A. HUNT ORTIZ, IGNACIO MONTERO RUÍZ, SALVADOR ROVIRA LLORÉNS, F. JAVIER LÓPEZ CACHERO 448

Tecnología de las primeras manufacturas férricas en el Noreste de la Península Ibérica. M. CARME ROVIRA HORTALÀ 458

Actividades metalúrgicas en Ampurias (L'Escala, Girona, España). MARTINA RENZI, IGNACIO MONTERO RUIZ, SALVADOR ROVIRA-LLORENS, MARC GENER, CARMEN ROVIRA-HORTALÀ, MARK HUNT, PERE CASTANYER, MARTA SANTOS-RETOLAZA 468

Etruscan gold jewellery: genuine, restored or pastiche? MARIA FILOMENA GUERRA 479

Caracterización de materiales férricos procedentes del poblado protohistórico de Basagain (Gipuzkoa, Euskal Herria). Estudio preliminar. SONIA SAN JOSE, MARTINA RENZI, SALVADOR ROVIRA 490

Estudio arqueometalúrgico: la herrería medieval de L'Esquerda, siglos XII-XIII dC (Roda de Ter, Catalunya). ORIOL AMBLÀS NOVELLAS, JUDIT MOLERA, IMMA OLLICH CASTANYER 500

Algunos aspectos de la tecnología de las hojas de espada ropera europea en los s. XVII y XVIII. MARC GENER 510

El contacto hispano-indígena a través de la metalurgia del antiguo noroeste de Argentina. GERALDINE A. GLUZMAN, LUIS R. GONZÁLEZ 522

S4 Prospección geofísica y teledetección 531

El proyecto "ALERT": un mapa de riesgos para la gestión y protección del patrimonio arqueológico litoral. ELÍAS LÓPEZ-ROMERO GONZÁLEZ DE LA ALEJA, MARIE-YVANE DAIRE 532

La utilización de imágenes multiespectrales en la arqueología del paisaje: un ejemplo en la comarca de la Vera Alta (Cáceres). CARLOS FERNÁNDEZ FREIRE 539

Elaboración de mapas de usos potenciales del suelo a partir de datos de teledetección para estudios de arqueología del paisaje: las sociedades protohistóricas en el valle del Guadiana Menor (Andalucía oriental). ANTONIO URIARTE GONZÁLEZ, JUAN M. VICENT GARCÍA, TERESA CHAPA BRUNET, VICTORINO MAYORAL HERRERA, JUAN PEREIRA SIESO, ANA CABRERA DÍEZ 555

Prospección magnética y rádar del subsuelo (3d) en el poblado ibérico de La Escuera (San Fulgencio, Alicante). J.A. PEÑA, T. TEIXIDÓ, E. CARMONA, L. ABAD, F. SALA, J. MORATALLA 568

S5 Patrimonio construido y restauración 576

La conservación y restauración de los metales arqueológicos: propuestas metodológicas y arqueometría. J. BARRIO, J. CHAMÓN, M. ARROYO, A.I. PARDO, E. CATALÁN 577

Monitorización del crecimiento microbiano en una tumba romana mediante técnicas de teledetección. M.A. ROGERIO CANDELERA, L. LAIZ TROBAJO, J.M. GONZÁLEZ GRAU, C. SÁIZ-JIMÉNEZ . . . 593

Análisis físico-químicos en las casas 6 y 7 del asentamiento ibérico de Puente Tablas, Jaén. ALBERTO SÁNCHEZ VIZCAÍNO, DAVID PARRAS GUIJARRO, MANUEL MONTEJO GÁMEZ, NATIVIDAD RAMOS MARTOS 601

Estudio del proceso de degradación de la colección de sellos de plomo del Ayuntamiento de Sevilla. ADRIÁN DURÁN BENITO, Mª CARMEN JIMÉNEZ DE HARO, ÁNGEL JAVIER JUSTO ERBEZ, LIZ KAREN HERRERA QUINTERO, Mª LUISA FRANQUELO ZOFFMANN 611

El Puente Romano (Pont del diable) de Martorell (Barcelona). AURELIO ÁLVAREZ, JOSÉ LUIS PRADA, ÁFRICA PITARCH, JORGE GALINDO 618

Caracterización estructural y analítica de los ladrillos de la fachada del palacio de Pedro I, Sevilla. JESÚS Mª. RINCÓN, MAXIMINA ROMERO, MARÍA TERESA BLANCO, SAGRARIO MARTÍNEZ 628

Caracterización de los materiales de construcción de la iglesia de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza). J. IGEA, P. LAPUENTE, R. ALLOZA, P. MARZO Y J.L. RECUENCO 640

Deterioro de sillares graníticos empleados en un edificio histórico de la ciudad de A Coruña (España). JORGE SANJURJO SÁNCHEZ, JUAN RAMÓN VIDAL ROMANÍ, CARLOS ALBERTO SIMÕES ALVES, DANIEL FERNÁNDEZ MOSQUERA 651

Origen de costras y pátinas de yeso en edificios históricos de A Coruña (NO España). JORGE SANJURJO SÁNCHEZ, JUAN RAMÓN VIDAL ROMANÍ, CARLOS ALBERTO SIMÕES ALVES, DANIEL FERNÁNDEZ MOSQUERA 661

S6 Pigmentos y pinturas 668

Aportaciones al uso de pigmentos durante el Neolítico Antiguo en las comarcas centrales valencianas. CLODOALDO ROLDÁN, JOSÉ L. FERRERO, PABLO GARCÍA BORJA, INÉS DOMINGO SANZ . . . 669

Estudio técnico de la pintura parietal romana. Análisis de fragmentos provenientes de Villa dei Papiri (Herculano) y del Jardín de la Casa del Bracciale d'Oro (Pompeya). ADRIÁN DURÁN BENITO, EDUARDO MILLÁN SAÑUDO, Mª CARMEN JIMÉNEZ DE HARO, JUAN F. CÁRCELES PASCUAL, ÁNGEL JUSTO ERBEZ, JOSÉ LUIS PÉREZ-RODRÍGUEZ 680

Caracterización de la composición y estructura de pigmentos decorativos de épocas romana, islámica y moderna de excavaciones arqueológicas de la ciudad de Sevilla mediante técnicas arqueométricas. M.A. HUNT ORTIZ, A. GÓMEZ MORÓN, M.Á. ONTALBA SALAMANCA, B. GÓMEZ TUBÍO, I. ORTEGA FELIU, D. GARCÍA RIVERO, J. VÁZQUEZ PAZ 688

Evolución química de materiales pictóricos: degradación o conservación. M.J. FELIU, P. MARTINEZ-BRELL 700

Indice de autores

Abad, L. S4 568
Alloza, R. S5 640
Almarza López, J.J. . . . . General 42
. . . . . S3L 379
Álvarez, Aurelio S5 618
Alves, C.A.S. S5 661
Amblàs Novellas, Oriol S3M 500
Armada Pita, Xosé-Lois S3M 410
Arroyo, M. S5 577
Badal García, Ernestina S1 136
. . . . . S1 144
Barral, M.A. S1 87
Barrio, J. S5 577
Benito, Alfonso S3L 346
Bishop, Ronald L. S3C 236
Blanco, María Teresa S5 628
Bonet Rosado, Helena S1 144
Borja, C. S1 87
Borja, F. S1 87
Borrego, Pilar S1 190
Borrell Tena, Ferran S3L 368
Bouquillon, A. S3C 309
Brugal, Jean-Philip S1 64
Burillo Mozota, Francisco S1 158
. . . . . S3C 265
Cabrera Díez, Ana S4 555
Cabrera, Ana S1 190
Cárceles Pascual, Juan F. S6 680
Cardoso, G. S2 204
Carmona, E. S4 568
Carmona, N. S3C 277
. . . . . S3C 319
Carrión Marco, Yolanda S1 158
Castaign, J. . . . . General 42
. . . . . S3C 309
. . . . . S3L 379
Castanyer, Pere S3M 468
Castañeda Fernández, Vicente . . S3L 360
Castellanos, M.A. S3C 319
Castro, Germán R. . . . . General 19
Catalán, E. S5 577
Chamón, J. S5 577
Chapa Brunet, Teresa S4 555
Climent-Font, A. S3L 390
Colina, Alvaro S3L 346
Collado Mataix, Eva S1 144
Comendador Rey, Beatriz S3M 410
Costa Caramé, Manuel Eleazar . . General 42
. . . . . S3M 398
Cubero Corpas, Carmen S1 180

Dabrio, C.J. S1 87
Daire, Marie-Yvane S4 532
Delgado Raack, Selina S3L 330
Dias, M. Isabel S2 204
. . . . . S2 211
Domingo Sanz, Inés S6 669
Domínguez-Bella, Salvador S3L 346
. . . . . S3L 360
Dorta Pérez, R. . . . . General 28
Durán Benito, Adrián S5 611
. . . . . S6 680
Fabado Alós, Francisco Javier . . S1 144
Feliu, M.J. S6 700
Fernández Freire, Carlos S4 539
Fernández Mosquera, Daniel S2 204
. . . . . S5 651
. . . . . S5 661
Fernández-Posse, M.D. S3C 277
Ferrero, José L. S6 669
Forteza González, M. . . . . General 42
. . . . . S3L 379
Franco, D. S2 204
Franquelo Zoffmann, Mª Luisa . . . S5 611
Fuentes Albero, Mercedes S1 144
Galindo, Jorge S5 618
Galván Santos, Bertila . . . . . General 28
. . . . . S1 64
García Borja, Pablo S6 669
García Martínez, María Soledad . . S1 169
García Rivera, Daniel S2 226
García Rivero, D. S6 688
García Vuelta, Óscar S3M 410
García-Heras, M. S3C 277
. . . . . S3C 319
Gener, Marc S3M 468
. . . . . S3M 510
Gianoncelli, A. S3C 309
Gluzman, Geraldine A. S3M 522
Gómez Gras, David S3L 330
Gómez Morón, A. S6 688
Gómez Tubío, B. S6 688
González Grau, J.M. S1 97
. . . . . S5 593
González, Luis R. S3M 522
Goy, J.L. S1 87
Guerra, Maria Filomena S3M 479
Gutiérrez Garcia-Moreno, Anna . . S3C 297
Gutiérrez Sáez, Carmen S3M 432
Gutiérrez, P.C. S3L 390
Gutiérrez-León, A. . . . . General 19
Hernandez Arnedo, Mª.J. . . . . General 42
Hernández Gómez, C.M. . . . . General 28
Hernández, Cristo S1 64
Hernández, M.J. S3L 379
Herrera Quintero, Liz Karen S5 611
Hunt Ortiz, Mark A. . . . . General 42
. . . . . S1 87
. . . . . S2 226
. . . . . S3M 448
. . . . . S3M 468
. . . . . S6 688
Hurtado Pérez, Víctor . . . . . General 42
. . . . . S2 211
. . . . . S3L 379
Igea Romera, Jesús S3C 265
Igea, J. S5 640
Izquierdo Peraile, Isabel S1 144
Jiménez de Haro, Mª Carmen . . . S5 611

Jiménez de Haro, Mª Carmen . . . S6 680
Justo Erbez, Ángel Javier S5 611
. . . . . S6 680
Laiz Trobajo, L. S5 593
Lantes-Suárez, Óscar S3C 250
Lapuente Mercadal, Pilar S3C 265
Lapuente, P. S5 640
Llergo, Y. S1 87
López Cachero, F. Javier S3M 448
López Merino, L. S1 77
López-Romero Glez. de la Aleja, E. S4 532
López Sáez, José Antonio S1 77
March, R.J. . . . . General 28
Martínez, Sagrario S5 628
Martinez-Brell, P. S6 700
Martínez-Cortizas, Antonio S3C 250
Marzo, P. S5 640
Mata Parreño, Consuelo S1 144
Matilla Séiquer, Gonzalo S1 169
Mayoral Herrera, Victorino S4 555
Millán Sañudo, Eduardo S6 680
Molera, Judit S3M 500
Montejo Gámez, Manuel S5 601
Montero Ruiz, Ignacio S3C 319
. . . . . S3M 448
. . . . . S3M 468
Morales Pérez, Juan Vicente S1 64
Moratalla, J. S4 568
Moreno Martín, Andrea S1 144
Moskal, Magdalena S1 136
Navazo, Marta S3L 346
Ntinou, María S1 144
Odriozola Lloret, Carlos P. . . . . General 42
. . . . . S2 211
Ollich Castanyer, Imma S3C 297
. . . . . S3M 500
Ontalba Salamanca, M.Á. S6 688
Ortega Feliu, I. S6 688
Pardo, A.I. S5 577
Parra, Enrique S1 190
Parras Guijarro, David S5 601
Pecero Espín, Juan C. S2 226
Peña, J.A. S4 568
Perea, A. S3L 390
Pereira Sieso, Juan S4 555
Pérez Díaz, Sebastián S1 77
Pérez Jordà, Guillem S1 158
Pérez Ripoll, Manuel S1 64
Pérez-Arantegui, Josefina S3C 265
Pérez-Rodríguez, José Luis S6 680
Pitarch, África S5 618
Polvorinos del Río, A. . . . . General 42
. . . . . S3C 309
. . . . . S3L 379
Portillo Guisado, M.C. S1 97
Prada, José Luis S5 618
Prieto-Lamas, Beatriz S3C 250
Prieto-Martínez, Mª Pilar S3C 250
Prudêncio, M. Isabel S2 204
. . . . . S2 211
Quixal Santos, David S1 144
Ramos Martos, Natividad S5 601
Recuenco, J.L. S5 640
Renzi, Martina S3M 468
. . . . . S3M 490
Rincón, Jesús Mª S3C 288
. . . . . S5 628
Ripollès Alegre, Pere Pau S1 144

Risch, Roberto S3L 330
Rocafiguera Espona, Montserrat . S3C 297
Rodríguez, Laura S1 190
Rogerio Candelera, M.A. S1 97
. . . . . S5 593
Roldán, Clodoaldo S6 669
Romero, Maximina S5 628
Rovira Hortalà, M. Carme S3M 448
. . . . . S3M 458
. . . . . S3M 468
Rovira Llorens, Salvador S3M 448
. . . . . S3M 468
. . . . . S3M 490
Rubio-Zuazo, J. . . . . General 19
Saiz Carrasco, Mª Esperanza . . . S3C 265
Saiz-Jimenez, C. S1 97
. . . . . S5 593
Sala, F. S4 568
San Jose, Sonia S3M 490
Sánchez Vizcaíno, Alberto S5 601
Sánchez-Palencia, F.J. S3C 277
Sanjurjo Sánchez, Jorge S1 204
. . . . . S5 651
. . . . . S5 661
Santos-Retolaza, Marta S3M 468
Saña, Maria S1 108
. . . . . S1 121
Simões Alves, Carlos Alberto . . . S5 651
Sistiaga Gutiérrez , A. . . . . General 28
Solange Vidal, Aixa . . . . . General 52
Soria Combadiera, Lucía S1 144
Soriano Llopis, Ignacio S3M 432
Teixidó, T. S4 568
Tornero, Carlos S1 108
. . . . . S1 121
Turell, Luis S1 190
Ubera, J.L. S1 87
Uriarte González, Antonio S4 555
Valcarcel, Amparo S1 158
Vázquez Paz, Jacobo S2 226
. . . . . S6 688
Vicent García, Juan M. S4 555
Vidal Romaní, Juan Ramón S5 651
. . . . . S5 661
Villegas, M.A. S3C 277
. . . . . S3C 319
Walter, P. S3C 309
Ynsa, M.D. S3L 390
Zazo, C. S1 87

Indice geográfico y toponímico

A Devesa do Rei - Área Ulla-Deza (Galicia)
S3C - Martínez 250

A Romea - Área Ulla-Deza (Galicia)
S3C - Martínez 250

Akarçay Tepe (Turquía)
S3L - Borrell 368

Allueva II (Allueva, Teruel)
S3C - Saiz 265

Ampurias (L'Escala, Girona)
S3M - Renzi 468

Anglés (Girona)
S3M - Rovira 458

Antigua cárcel de San Fernando (Cádiz)
S6 - Feliu 700

Archena (Murcia)
S1 - García 169

Argentina
S3M - Gluzmán 522

Ayuntamiento de Sevilla
S5 - Durán 611

Barranco de la Cañada (Torralba de los Frailes, Zaragoza)
S3C - Saiz 265

Basagain (Anoeta)
S3M - SanJosé 490

Calatrava la Vieja (Ciudad Real)
S5 - Barrio 577

Calle Pureza (Sevilla)
S6 - Hunt 688

Calle San Fernando (Sevilla)
S1 - Borja 87
S6 - Hunt 688

Can Bech de Baix-Agullana (Girona)
S3M - Rovira 458

Can Gambús (Barcelona)
S3M - Rovira 458

Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona)
S3M - Rovira 448
S3M - Rovira 458

Can Roqueta II (Barcelona)
S3M - Rovira 458

Casa del Bracciale d'Oro (Pompeya)
S6 - Durán 680

Catedral de Sevilla (Sevilla)
S3C - Gianoncelli 309

Cerrá la Viña I (Allueva, Teruel)
S3C - Saiz 265

Colegiata de Santa María del Campo (A Coruña)
S5 - Sanjurjo 661

Complejo megalítico de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla)
S3L - Forteza 379

Coto Minero Las Cruces (Sevilla)
S2 - Hunt 226

Cova de la Sarsa (Bocairent, Valencia)
S6 - Roldán 669

Cova del'Or (Beniarrés, Alicante)
S6 - Roldán 669

Cova Fosca (Vall d'Ebo, Alicante)
S6 - Roldán 669

Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid)
S3C - Carmona 319

Egipto
S1 - Cabrera 190

El Castrelín de San Juan de Paluezas (Borrenes, León)
S3C - Carmona 277

El Pañuelo (Villamanta, Madrid)
S5 - Barrio 577

El Salt (Alcoy, Alicante)
General - March 28
S1 - Morales 64

España Mediterránea
S1 - López 77

Estuario del Guadalquivir
S1 - Borja 87

Europa
S3M - Gener 510

Fuente del Trucho (Colungo, Huesca)
S1 - Portillo 97

Galicia
S3M - Armada 410

Guarrazar (Toledo)
S3L - Gutierrez 390

Hortezuelas III (Ablanque, Guadalajara)
S3C - Saiz 265

Iglesia de Las Capuchinas (A Coruña)
S5 - Sanjurjo 651
S5 - Sanjurjo 661

Iglesia de Santiago (A Coruña)
S5 - Sanjurjo 661

Iglesia Mayor Prioral de El Puerto de Santa María (Cádiz)
S6 - Feliu 700

Iglesia Mudéjar de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza)
S5 - Igea 640

Jardín de Alá (Salteras, Sevilla)
S2 - Hunt 226

L'Esquerda (Masies de Roda-Roda de Ter, Barcelona)
S1 - Cubero 180
S3C - Gutierrez 297
S3M - Amblàs 500

La Escuera (San Fulgencio, Alicante)
S4 - Peña 568

La Muela de Cástulo (Jaen)
S3C - Rincón 288

La Oruña (Trasmoz-Vera de Moncayo, Zaragoza)
S3C - Saiz 265

La Pedrera (Lleida)
S3M - Rovira 458

La Pijotilla (Tierra de Barros, Badajoz)
S2 - Odriozola 211
S3L - Polvorinos 379

La Rodriga (Fuentelsaz, Guadalajara)
S3C - Saiz 265

La Vera Alta (Cáceres)
S4 - Fernández 539

Las Médulas (León)
S3C - Carmona 277

Las Tejedas (Orihuela del Tremedal, Teruel)
S3C - Saiz . . . . . .

Las Veguillas (Camañas, Teruel)
S3C - Saiz 265

Latinoamérica
General - Solange 52

Los Escobares (Valdecebro, Teruel)
S3C - Saiz 265

Los Vicarios (Valdecebro, Teruel)
S3C - Saiz 265

Mesoamérica
S3C - Bishop 236

Modojos II (Codes, Guadalajara)
S3C - Saiz 265

Mojón de Ibdes II (Monterde-Llumes, Zaragoza)
S3C - Saiz 265

Muriecho L (Colungo, Huesca)
S1 - Portillo 97

Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla)
S5 - Rogerio 593

NO Francia
S4 - López 532

Opatów (Klobuck, Polonia)
S1 - Moskal 136

Orellán (León)
S3C - Carmona 277

Palacio de Pedro I en los Reales Alcázares de Sevilla
S5 - Rincón 628

Pont del Diable (Martorell, Barcelona)
S5 - Álvarez 618

Puente Tablas (Jaén)
S5 - Sánchez 601

Río Palmones (Los Barrios, Cádiz)
S3L - Castañeda 360

SE-B (Coto Minero Las Cruces, Garena-Salteras, Sevilla)
S2 - Hunt 226

Segeda (Mara, Zaragoza)
S1 - Pérez 158

SE-K (Coto Minero Las Cruces, Salteras, Sevilla)
S2 - Hunt 226

Sierra de Atapuerca (Burgos)
S3L - Navazo 346

Sierra Morena occidental (Huelva y Sevilla)
General - Almarza 42

Tell Halula (Valle Medio del Éufrates, Siria)
S1 - Tornero 108
S1 - Tornero 121
S3L - Borrell 368

Tierra de Barros (Badajoz)
General - Almarza 42

Torre de Hércules (A Coruña)
S2 - Fernández 204

Torredonjmeno (Jaén)
S3L - Gutierrez 390

Valle del Guadiana Menor (Andalucía oriental)
S4 - Uriarte 555

Villa dei Papiri (Herculano)
S6 - Durán 680

Zarra de Xacín - Área Ulla-Deza (Galicia)
S3C - Martínez 250

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

LÍNEA ESPAÑOLA SPLINE DE RADIACIÓN SINCROTRÓN. POSIBLES APLICACIONES EN ARQUEOMETRÍA

SPLINE, A SPANISH SYNCHROTRON RADIATION BEAMLINE. POSSIBLEAPPLICATIONS ON ARCHAEOMETRY

ANA GUTIÉRREZ-LEÓN, JUAN RUBIO-ZUAZO, GERMÁN R. CASTRO

SpLine Spanish CRG Beamline-ESRF (6 rue Jules Horowitz BP220 Grenoble Cedex 38043 Francia) / Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC (C/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, Cantoblanco, 28049 Madrid, España).
Correo electrónico: gutierre@esrf.fr

RESUMEN

Las fuentes de radiación sincrotrón son quizás el instrumento más poderoso que existe actualmente para estudiar la materia a escala atómica y molecular. Desde hace algunos años, la arqueometría y el estudio del patrimonio se benefician altamente de las ventajas de la radiación sincrotrón. España posee una línea multidisciplinar de radiación sincrotrón, SpLine (CRG BM25), en el European Synchrotron Radiation Facility (ESRF, Grenoble – Francia), a la cual tienen acceso todos los investigadores españoles. El propósito de este trabajo es proporcionar a la comunidad de arqueólogos información sobre las posibilidades que ofrece dicha radiación, con la que no suele estar familiarizada, y en particular la línea española de experimentación SpLine.

ABSTRACT

Synchrotron radiation is nowadays the most powerful technique for the study of matter at atomic and molecular scale. Since several years ago, archaeometry and cultural heritage research have been benefitting from the advantages of the synchrotron radiation. Spain has a multidisciplinary synchrotron beamline, SpLine (CRG BM25), in the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF, Grenoble – France) available to all Spanish researchers. The purpose of this work is to provide the community of archaeologists with information about the possibilities of this radiation, and in particular about the Spanish synchrotron X-Ray beamline SpLine.

Palabras clave: Radiación sincrotrón, rayos-X, difracción de polvo de alta resolución (HRPD), absorción de rayos-X (XAS), difracción de ángulo rasante (GID), fotoemisión de altas energías (HAXPES).

Key words: *Synchrotron radiation, X-ray, HRPD, XAS, GID, HAXPES.*

I. INTRODUCCIÓN

La curiosidad humana es la fuerza que nos lleva a investigar el mundo que nos rodea. Entre las preocupaciones actuales de nuestra sociedad, las cuales no son fáciles de resolver, está el conocimiento de nuestro pasado y de los restos que de él nos quedan. Diversas disciplinas se dedican a estudiar estos aspectos, como la arqueología o la arqueometría, una disciplina que utiliza técnicas físicas y químicas para caracterizar objetos de trascendencia arqueológica o del patrimonio en general. En cualquier caso estas dudas no podrán ser respondidas sin un conocimiento profundo y detallado de la estructura de la materia. En el afán de resolver estas preocupaciones fundamentales los científicos han desarrollado un gran número de instrumentos capaces de resolver dicha estructura a escala atómica y molecular. Uno de estos instrumentos, quizás el más poderoso, lo constituyen las fuentes de radiación sincrotrón, mejor conocidas como sincrotrones, que pueden ser visualizados o imaginados como un súper microscopio. Este instrumento ha contribuido de manera muy significativa al progreso del conocimiento en muchos campos de la ciencia. Así, la radiación sincrotrón se aplica en áreas del conocimiento tan diversas como Física, Química, Biología, Ciencia de Materiales, Geofísica, Medioambiente o Medicina, y por supuesto, aunque de forma más reciente, arqueometría y patrimonio. Actualmente existen alrededor de 50 sincrotrones en el mundo y el número de científicos que hacen uso de la radiación sincrotrón aumenta cada día. Uno de estos sincrotrones es el Laboratorio Europeo de Radiación Sincrotrón (ESRF, European Synchrotron Radiation Facility), ubicado en Grenoble/Francia y en el cual existe la línea española de experimentación BM25-SpLine (Castro, 1998).

En este trabajo vamos a tratar de hacer un resumen de las posibilidades que ofrece la radiación sincrotrón y en particular la línea española de experimentación SpLine en el campo de la arqueometría y del patrimonio. El trabajo se divide en tres partes. En la primera se hace una descripción general de la radiación sincrotrón, incluyendo su definición, características, breve historia y las ventajas de su uso. En la segunda parte se presentan algunos ejemplos de estudios recientes en el área de la arqueometría y del patrimonio. En tercer lugar se hace una descripción general de la línea española de radiación sincrotrón SpLine, incluyendo sus características, técnicas experimentales y equipamiento disponible; acceso a dichos recursos para la comunidad científica española y posibles aplicaciones en el área de la arqueometría y del patrimonio. El propósito de este trabajo es darle a la comunidad científica española dedicada al estudio de arqueometría y patrimonio, que en general está poco familiarizada con la radiación sincrotrón y a la cual puede tener acceso de una manera relativamente sencilla, una idea general de las inmensas posibilidades que ésta ofrece.

II. LA RADIACIÓN SINCROTRÓN

Se denomina radiación sincrotrón (v. Fig. 1a) a la radiación electromagnética emitida por partículas cargadas —en la mayoría de los sincrotrones se utilizan electrones— que se mueven a alta velocidad (cercana a la velocidad de la luz) cuando son sometidas a una fuerza centrífuga. La energía que pierden tangencialmente a la trayectoria circular descrita debido a la fuerza centrífuga es lo que se llama radiación sincrotrón (Kunz, 1979). En el caso de un sincrotrón las partículas cargadas son sometidas a la acción de un campo magnético y de un campo eléctrico, los cuales ejercen una fuerza centrífuga sobre éstas, cambiando su trayectoria y acelerándolas. Estos campos son aplicados por imanes electrostáticos, llamados imanes de curvatura. Cuando las partículas cargadas pasan por estos imanes su trayectoria rectilínea se desvía varios grados. Este cambio de dirección les lleva a emitir radiación sincrotrón. Un sincrotrón (v. Fig. 1b) se compone de varios de estos imanes hasta cerrar la trayectoria de las partículas cargadas. De esta manera estas partículas están continuamente girando por un anillo de almacenamiento y emitiendo radiación cada vez que pasan, en este caso, por un imán de curvatura.

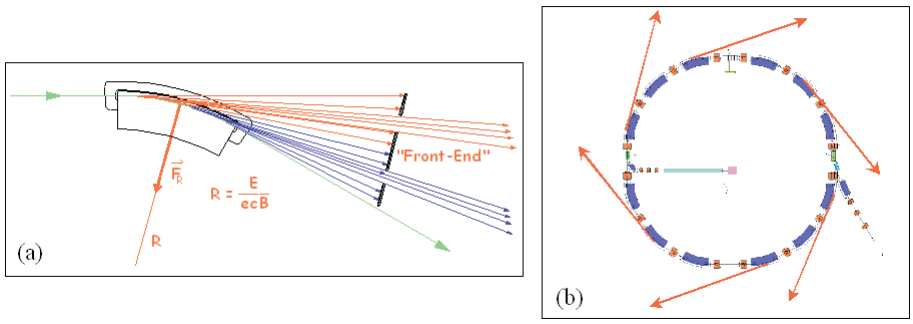


Figura 1. Representación esquemática de (a) un imán de curvatura, donde la radiación sincrotrón es emitida tangencialmente a la trayectoria descrita por los electrones; y de (b) un sincrotrón, compuesto de una sucesión de imanes de curvatura.

Dependiendo de la energía de los electrones, la radiación sincrotrón está optimizada en un rango determinado del espectro electromagnético (ultravioleta, infrarrojo o rayos-X). Generalmente hay dos tipos de sincrotrones: los que están centrados en el rango de ultravioleta, en los que se estudian básicamente enlaces moleculares, y los centrados en infrarrojos y esencialmente en rayos-X, que sirven fundamentalmente para estudiar los arreglos atómicos y moleculares que componen la materia. Actualmente se han impuesto estos últimos, ya que permiten obtener también, de manera indirecta, la información que se consigue con un sincrotrón de ultravioleta.

En el caso del sincrotrón ESRF instalado en Grenoble, Francia (www.esrf.fr), los electrones se aceleran primero en un acelerador lineal *(linac)* y luego se transfieren a un acelerador circular *(sincrotrón booster),* donde se aceleran hasta que alcanzan una energía de seis mil millones de electronvoltios (6GeV). A continuación, estos electrones de elevada energía se inyectan en un anillo de almacenamiento de gran tamaño —844 metros de circunferencia— en el que circulan en un sistema de vacío a energía constante. Según los electrones van emitiendo radiación sincrotrón, la intensidad de ésta va disminuyendo. Una vez que la intensidad de la radiación emitida ha disminuido una cantidad apreciable, aproximadamente un 20%, se inyectan en el anillo de almacenamiento electrones nuevos. De esta manera se mantienen electrones circulando dentro del anillo de almacenamiento de manera continua durante, en el caso del ESRF, 24 horas al día y 6 días a la semana. La trayectoria de los electrones dentro del anillo de almacenamiento se controla utilizando diferentes tipos de imanes repartidos a lo largo del anillo: i) Los **imanes de curvatura (dipolos)** se utilizan para curvar la trayectoria de los electrones y así describir una circunferencia, o mejor dicho, un polígono de muchos lados. A cada paso por un imán de curvatura los electrones son desviados de su trayectoria rectilínea y consecuentemente emiten radiación sincrotrón que puede ser utilizada por las líneas de luz. ii) Los **imanes de focalización (cuadrupolos y sextupolos)** se utilizan para enfocar el haz de electrones a fin de mantenerlo pequeño y bien definido. iii) Los **dispositivos de inserción**, situados en las secciones rectas entre dos imanes de curvatura, son estructuras magnéticas formadas por una compleja serie de pequeños imanes que obligan a los electrones a seguir una trayectoria ondulada. Los haces de radiación emitidos desde las diferentes curvas se solapan e interfieren entre sí para generar un haz de radiación mucho más intenso que el que generan los imanes de curvatura.

Los haces de radiación sincrotrón emitidos por los electrones son dirigidos hacia las líneas de luz *(beamlines)* que rodean el anillo de almacenamiento. Cada línea de luz está especialmente diseñada para la aplicación de una técnica específica o para un tipo concreto de investigación. Las líneas de luz constan de: i) La **cabina óptica**, que alberga los sistemas ópticos empleados para adaptar el haz de rayos-X a las características requeridas por el experimento; ii) La **cabina experimental**, que contiene el mecanismo de apoyo y el entorno modelo para la muestra que será objeto de estudio y uno o varios detectores que

registran la información que se genera como resultado de las interacciones entre el haz de sincrotrón y la muestra; iii) La **cabina de control**, que permite a los investigadores controlar sus experimentos y compilar los datos.

Las características más importantes de la radiación de sincrotrón son: i) Amplio rango espectral (v. Fig. 2) que cubre desde el infrarrojo hasta los rayos-Gamma, pasando por el visible, ultravioleta, rayos-X blandos y rayos-X duros. Esto permite sintonizar, es decir, escoger la energía adecuada adaptada a una técnica en particular o a un material a estudio en concreto; ii) Haz de luz de altísima intensidad (12 órdenes de magnitud, 1 billón de veces más intenso que, por ejemplo, los rayos-X de un hospital); iii) Alta direccionalidad; iv) Polarización bien definida; v) Marcada estructura temporal. Estas características hacen de la radiación sincrotrón una herramienta excepcional con una amplia gama de campos de aplicación. Esto hace que hoy en día los sincrotrones estén altamente optimizados para la producción de radiación sincrotrón, pero para llegar a este punto se ha recorrido un largo camino. Los primeros aceleradores **(ciclotrones)** fueron construidos en los años 30 por los físicos de partículas elementales con el objetivo de elucidar la composición atómica/nuclear mediante el choque de partículas de muy altas energías y deducir de sus resultados las leyes fundamentales de la física. En Estados Unidos se observó por primera vez la emisión de radiación sincrotrón en una variante de estos aceleradores **(sincrotrones**, llamados de **primera generación)**, en el año 1947. Hasta los años 60 no se reconocieron sus propiedades excepcionales como fuente de radiación. En los años 70 se comenzó con la construcción y explotación de grandes instalaciones dedicadas exclusivamente a la producción de radiación sincrotrón. Estos sincrotrones, llamados **sincrotrones de segunda generación**, estaban basados exclusivamente en imanes de curvatura. A principios de los años 90 se desarrollaron los dispositivos de inserción, con los cuales se mejoró sustancialmente la calidad de la radiación producida. Estos sincrotrones, que incluyen dispositivos de inserción en las secciones rectas son llamados sincrotrones de tercera generación. Desde entonces los sincrotrones han evolucionado optimizando cada vez más la emisión de radiación sincrotrón, es decir, aumentando continuamente la intensidad de la radiación emitida y mejorando claramente sus propiedades.

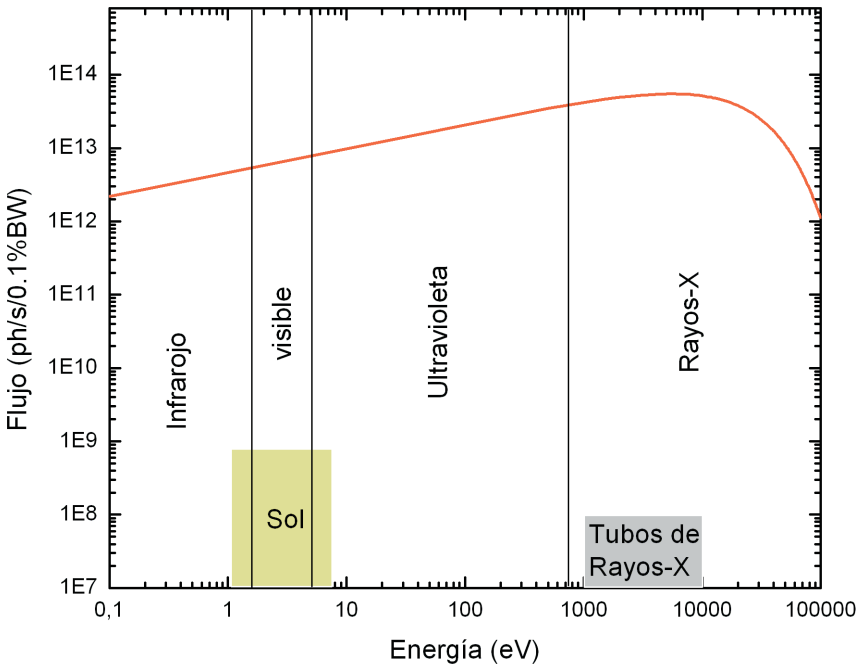


Figura 2. Distribución de energías para el imán de curvatura que proporciona la radiación sincrotrón a la línea española de experimentación SpLine.

Las ventajas del uso de la radiación sincrotrón se basan en las excelentes propiedades de ésta. La arqueometría y el estudio del patrimonio se benefician altamente de algunas de las características mencionadas. En particular las ventajas de la radiación sincrotrón aplicadas a estos campos se pueden resumir en:

- Amplio espectro de emisión (IR, visible, UV, rayos-X blandos, rayos-X duros, rayos-Gamma), lo que permite analizar diferentes tipos de materiales, como pueden ser orgánicos e inorgánicos, o basados en elementos ligeros (vidrios) o pesados (metales).
- Uso de técnicas experimentales basadas en la interacción de la radiación con la materia, lo que implica que, en la mayoría de los casos, los análisis no son destructivos.
- Haz de luz de altísima intensidad (12 órdenes de magnitud más elevada que, por ejemplo, un tubo convencional de rayos-X), lo que implica la posibilidad de obtener la información necesaria a partir de muy poca cantidad de muestra.
- La penetración en la materia de los rayos-X duros puede llegar a varios milímetros, por lo que se puede acceder a estratos enterrados de manera no destructiva.
- El tamaño del haz se puede variar entre las centenas de milímetro y las decenas de nanómetros (cien milésima de milímetro), lo que permite desde sondear grandes áreas hasta realizar análisis con alta resolución lateral (microscopía).

III. EJEMPLOS RECIENTES DE ESTUDIOS ARQUEOMÉTRICOS UTILIZANDO RADIACIÓN SINCROTRÓN

Numerosos ejemplos del uso de la radiación sincrotrón en el área de la arqueología y del patrimonio pueden encontrase en periódicos, en revistas de divulgación y en revistas altamente especializadas. En los últimos años varios artículos de periódico han sido publicados en relación con este tema. En agosto de 2006 se publicaba en varios periódicos del mundo *(El País, BBC Mundo)* el hallazgo de una serie de escritos del físico y matemático griego Arquímedes, ocultos bajo una serie de imágenes y textos realizados posteriormente sobre el mismo pergamino. El descubrimiento de estos textos fue posible mediante la combinación de la técnica de fluorescencia de rayos-X, la cual permite realizar análisis selectivos en composición elemental, y los rayos-X generados por un sincrotrón, que permiten estudiar estratos enterrados sin destruir, en este caso, el manuscrito original. De esta manera los investigadores de la Universidad de Stanford fueron capaces de leer el texto original que se escondía bajo otro posterior. El estudio de estos textos ocultos brinda información de gran valor para entender al matemático griego.

Otro ejemplo, también publicado en el periódico recientemente, trata de un estudio de conservación sobre los muros de Pompeya. En este caso, los rayos-X del sincrotrón de Grenoble pudieron desvelar el origen del ennegrecimiento del color rojo chillón presente en las pinturas murales de una villa próxima a la ciudad romana de Pompeya. En este caso también se utilizó la técnica de fluorescencia de rayos-X, la cual permitió, por un lado, determinar la composición elemental de la capa ennegrecida de pintura, y por otro, determinar el espesor de esta capa. Así mismo los investigadores de Grenoble pudieron ver que el color original permanece intacto debajo de esta fina capa de pintura ennegrecida.

Algunos de los estudios arqueométricos más relevantes realizados en el sincrotrón ESRF en Grenoble, Francia, están descritos en el número 44 de la revista *Newsletter*[1], publicada mensualmente por el ESRF. En este número se pueden encontrar estudios de conservación en cuadros, murales, cerámicas, textiles, metales, fósiles, etc. Un ejemplo sería la determinación de la composición y de la estructura atómica de

1. http://www.esrf.eu/files/Newsletter/NL44.pdf

ciertos pigmentos antiguos con increíbles propiedades, como el azul maya, estudio realizado en la línea española SpLine (Sánchez del Río, 2008), con el fin de, por un lado, aumentar el conocimiento sobre estas civilizaciones, y por otro, reproducir de manera artificial estos pigmentos con propiedades peculiares. También se pueden encontrar estudios sobre huevos fosilizados, en los cuales, aprovechando la gran penetración de los rayos-X, los investigadores han podido observar el interior sin destruir la carcasa. Igualmente se recogen estudios de datación y de autentificación tanto en cerámicas como en metales (monedas, espadas, etc.).

Otra prueba del creciente interés que supone la radiación sincrotrón para el estudio de materiales arqueológicos y del patrimonio cultural, es el número creciente de congresos realizados sobre el tema, entre los que queremos destacar la serie *Synchrotron Radiation in Art and Archaeology (SR2A),* el primero de los cuales se realizó en el ESRF, Grenoble, en el año 2005; el segundo tuvo lugar en Bessy, Berlín, en septiembre del 2006 (actas publicadas en la revista *Applied Physics A* 2008); y el tercero está previsto para el año 2008 en Barcelona. En estos congresos se tratan temas muy diversos relacionados siempre con la arqueometría y la utilización de la radiación sicrotrón, desde conservación y prevención para el cuidado de las obras, como datación, caracterización mineralógica para determinar procedencia del material, análisis y comparación de materiales —por ejemplo pastas cerámicas—, autentificación de las obras, etc.

IV. LÍNEA ESPAÑOLA SPLINE DE RADIACIÓN SINCROTRÓN (ESRF, GRENOBLE-FRANCIA)[2]

España posee una línea multidisciplinar de radiación sincrotrón en el European Synchrotron Radiation Facility (ESRF, Grenoble – Francia), la línea CRG BM25 SpLine. La línea SpLine está dividida en dos ramas que pueden ser utilizadas simultáneamente, con dos estaciones experimentales en cada una de ellas, ofreciendo gran diversidad de posibilidades para el análisis estructural, composicional y químico de materiales. Las técnicas de que dispone este laboratorio (v. Fig 3) son: **difracción de polvo de alta resolu-**

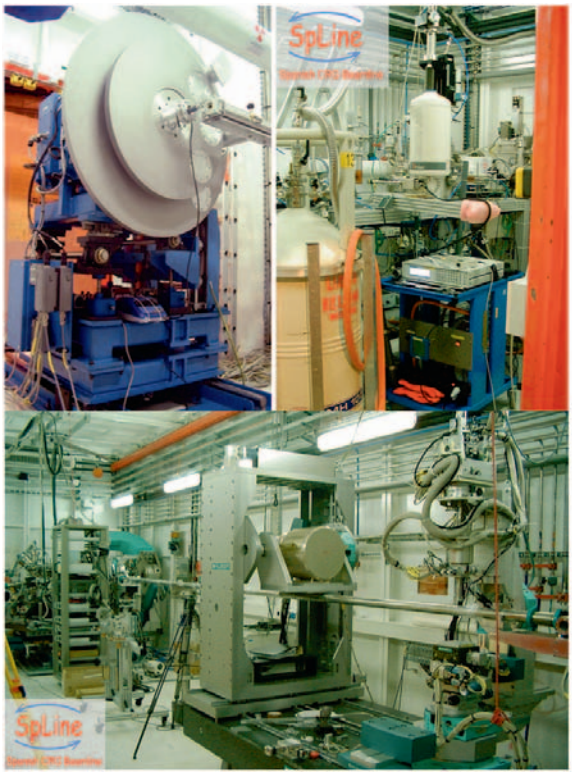


Figura 3. Equipos experimentales de la línea española de experimentación SpLine: Difracción de polvo de alta resolución —HRPD— (arriba izq.), Absorción de rayos-X —XAS— (arriba dcha.), difracción de ángulo rasante y fotoemisión de altas energías (abajo).

2. http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/CRG/BM25/

ción (HRPD), **difracción de superficies e intercaras —ángulo rasante— (GID), absorción —transmisión y fluorescencia— (XAS) y fotoemisión de altas energías (HAXPES)**, todas ellas en el rango de rayos X duros. Asimismo SpLine facilita trabajar con diferentes entornos de muestra como ultra alto vacío, alta y baja temperatura, alta presión, etc. Además, el tamaño de haz se puede variar desde las centenas hasta las milésimas de milímetro, en función del área de muestra que se quiera analizar. El hecho de trabajar con haces tan pequeños permite analizar zonas muy concretas de una muestra, como puede ser una incisión o una zona minúscula en una pieza, lo cual es poco factible en la mayoría de los laboratorios convencionales.

En la rama A de la línea SpLine se pueden utilizar las siguientes técnicas experimentales:

- **Difracción de polvo de alta resolución (HRPD)**. Esta estación cuenta con un difractómetro robusto de dos círculos ($\theta/2\theta$), con una resolución en grados de 10^{-4}. El eje común de los dos círculos es horizontal, para medir difracción en el plano vertical. El porta-muestras acepta capilares de diferentes espesores. El sistema de detección consta de diez detectores puntuales con cristal analizador. La estación permite la adquisición tanto en modo de transmisión como en modo de lámina delgada.

  En el campo de la arqueometría esta técnica se utiliza muy habitualmente, por ejemplo para determinar la composición mineralógica y estructural de la muestra estudiada (cerámicas, pigmentos, etc.). Para este tipo de análisis pueden utilizarse capilares, para lo cual habría que conseguir una mínima cantidad de muestra en polvo (v. Fig. 4a), generalmente mediante raspado, o se puede estudiar la pieza por ángulo rasante, sin necesidad de deteriorarla. Esta última opción es interesante en el caso de analizar, por ejemplo, una capa de pigmento sobre una cerámica..., pero es más habitual trabajar con capilares, ya que los datos obtenidos son más representativos de todo el volumen de la muestra, como es el caso, por ejemplo, de una pasta cerámica.

- **Absorción de rayos-X (XAS)**. En esta estación se realizan diferentes tipos de experimentos (transmisión, fluorescencia o *"electron yield")* bajo diferentes condiciones (cámara de reacción, temperatura controlada, etc.). Para ello existe un banco de medidas de aproximadamente 4 metros de largo, que dispone de tres cámaras de ionización usadas como detectores de haz y de una cámara de alto vacío con su correspondiente sistema de bombeo. Asimismo, esta estación cuenta con un detector de fluorescencia de trece elementos y un sistema de posicionamiento de muestra motorizado.

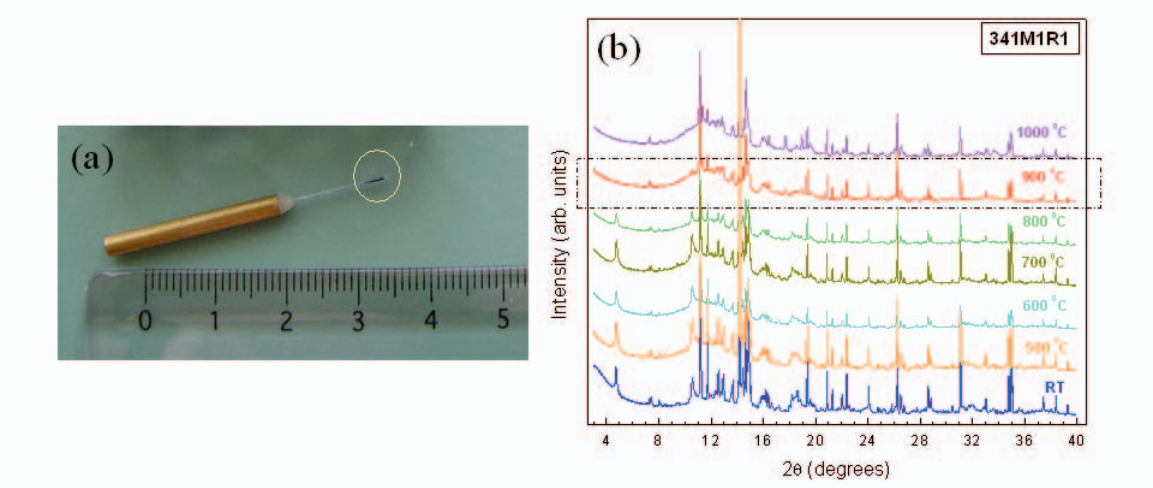


Figura 4. (a) Imagen de un capilar de 0.5 mm de diámetro utilizado para las medidas, donde se puede apreciar la poca cantidad de muestra necesaria para la realización del experimento. (b) Serie de difractogramas medidos a diferentes temperaturas, entre temperatura ambiente y 1000ºC, para una muestra de la edad del Bronce Antiguo-Medio. La longitud de onda utilizada fue λ=0.8 Å.

Hoy en día la espectroscopia de absorción de rayos X es una herramienta básica de la investigación científica. Su capacidad de suministrar de una manera sencilla información directa estructural y electrónica sobre la materia, independientemente de su estado de agregación, la hace muy útil para las distintas disciplinas científicas. XAS ha demostrado que es una técnica muy adecuada para resolver problemas en Física del Estado Sólido, Ciencia de Materiales, Física de Superficies, Catalizadores, Química, Biología o Geología. En lo que respecta a estudios arqueométricos esta técnica ha probado sobradamente su valor, ya que permite, por ejemplo, determinar el estado de oxidación de una muestra, lo que es fundamental en los trabajos de conservación y prevención de la corrosión. La fluorescencia de rayos-X es igualmente reconocida para determinar la composición elemental de materiales, y probablemente la técnica más utilizada actualmente en este sentido, como muestran los ejemplos descritos en el apartado III de este artículo. Debido a la combinación del alto flujo de fotones proporcionado por una fuente de radiación sincrotrón, junto con la utilización de un detector multicanal, se consigue una alta sensibilidad que permite detectar la presencia de elementos químicos en concentraciones inferiores a las partes por billón —ppb— o elementos traza.

La rama B consta igualmente de dos estaciones experimentales:

- **Difracción de ángulo rasante (GID)**. Este equipo consta de un difractómetro de seis círculos, con el eje principal en la vertical, en el que se pueden instalar equipos auxiliares necesarios para el entorno de las muestras, tales como hornos, imanes o cámaras de vacío. Las posibilidades que ofrece este equipo para el trabajo con muestras arqueológicas o de patrimonio son muy similares a las de la estación de HRPD, con la diferencia de que esta estación es ideal para trabajar con piezas voluminosas (hasta aproximadamente medio metro de diámetro y 50 kilogramos de peso). El sistema de posicionamiento de muestra motorizado permite el trabajar con un ángulo de incidencia rasante y poder centrar el haz en diferentes partes de la muestra con alta precisión, realizando un *mapping* de la pieza. Además existe un detector bidimensional de tipo CCD, con el cual se pueden adquirir patrones de difracción, aunque con peor resolución que en el el caso de HRPD, en pocos segundos.
- **Fotoemisión de altas energías y difracción de rayos-X (HAXPES/XRD)**. Este montaje experimental excepcional instalado en la línea permite realizar experimentos de difracción y fotoemisión simultáneamente, pudiendo obtener perfiles de concentración (composición, estado químico y estructura electrónica) en profundidad, a una escala nanométrica. Más aún, debido a la detección simultánea de los fotones difractados y de los fotoelectrones, permite correlacionar de forma directa las propiedades electrónicas, geométricas y estructurales de sólidos. La estación experimental consta de un robusto difractómetro de tipo 2S+3D con el eje principal a lo largo de la horizontal, el cual soporta un peso máximo de 1000 kg manteniendo una precisión de movimiento micrométrica; existe también una cámara de ultra alto vacío con un analizador de fotoemisión de altas energías.

  Esta técnica, totalmente innovadora, todavía no ha sido utilizada en el campo de la arqueometría, pero en cuanto a sus posibles aplicaciones, se puede decir que permite obtener información similar a la fluorescencia de rayos-X, pero en este caso se tiene alta sensibilidad para elementos ligeros, de bajo número atómico. Esto podría ser útil en el estudio de vidrios, por ejemplo.

La Fig. 4b muestra un ejemplo de análisis realizado en la línea SpLine. El objetivo principal del trabajo es la caracterización arqueométrica de cerámicas de distintos periodos cronoculturales del yacimiento “Los Rosales – C/ Calcio”, mediante difracción de polvo usando radiación sincrotrón. Para este estudio se han seleccionado fragmentos de cerámicas pertenecientes a cada uno de los tres periodos para determinar las temperaturas de cocción, lo que puede aportar información sobre los procesos tecnológicos de fabri-

cación. Este análisis se basa en el cambio irreversible de la composición mineralógica en función de la temperatura a la que se ha sometido la muestra. Los difractogramas han sido tomados a temperatura ambiente, tras haber calentado la muestra a distintas temperaturas (de 500ºC a 1000ºC, en pasos de 100ºC) manteniéndola 1 hora en cada una de ellas y volviéndola a enfriar antes de tomar las medidas. Los primeros resultados permiten fijar un límite superior de temperatura bastante general. En la Fig. 4b, que muestra un difractograma obtenido sobre una muestra de la Edad del Bronce Antiguo-Medio (1700-1500 a.C.), se puede observar que dicha cerámica no fue cocida a una temperatura superior a 900ºC. Análisis posteriores y ampliar la estadística de medidas permitirán limitar mucho más los rangos de temperatura de cocción en función de cada periodo.

La finalidad de la línea española SpLine en el ESRF es atender las necesidades crecientes de uso de la radiación sincrotrón por la comunidad científica española en diversas áreas, así como coordinar y asesorar a los grupos de usuarios españoles que utilicen la radiación sincrotrón, y en particular esta estructura científica. A este laboratorio, gestionado por el CSIC, tienen acceso todos los investigadores españoles mediante la proposición de experimentos[3], cuya calidad científica y viabilidad técnica será evaluada por un comité científico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) la financiación necesaria para la realización de este trabajo a través del Proyecto Intramural 2004 5 OE 292. Asimismo quieren dar las gracias al arqueólogo Ricardo Berzosa del Campo por proporcionarles los fragmentos de cerámica analizados.

BIBLIOGRAFÍA

CASTRO, G.R. 1998: "Optical design of the general-purpose Spanish X-ray beamline for absorption and diffraction". *Journal of Synchrotron Radiation* 5: 657-660.

KUNZ, C. 1979: *Synchrotron Radiation: Techniques and Applications.* Springer-Verlag. Berlín.

SÁNCHEZ DEL RÍO, M. *et al.* 2008: “Synchrotron powder diffraction on Aztec blue pigments” *Applied Physics A* 90 (1): 55-60.

VV.AA. 2006: “Synchrotron Radiation in Art and Archaeology 2005 Proceedings”. *Applied Physics A* 83 (2).

VV.AA. 2008: “Synchrotron Radiation in Art and Archaeology 2006 Proceedings”. *Applied Physics A* 90 (1).

3. http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/CRG/BM25/Beamtime

TRAS EL FUEGO DE LOS NEANDERTALES. QUÍMICA ORGÁNICA APLICADA AL ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS DE COMBUSTIÓN DEL YACIMIENTO MUSTERIENSE DE EL SALT (ALCOY, ALICANTE)*

BEHIND THE NEANDERTHALS' FIRE. ORGANIC CHEMESTRY APPLIED TO THE STUDY OF THE COMBUSTION STRUCTURES IN THE MOUSTERIAN SITE OF EL SALT (ALCOY, ALICANTE)

R.J. MARCH[1], R. DORTA PÉREZ[2], A. SISTIAGA GUTIÉRREZ[2],
B. GALVÁN SANTOS[3], C.M. HERNÁNDEZ GÓMEZ[3]

(1) UMR 6566 du CNRS, Ramiro.march@univ-rennes1.fr
(2) Universidad de La Laguna, Ricardo7@arrakis.es, ainarasistiaga@gmail.com
(3) Universidad de La Laguna, grupo de trabajo "ARQUEOLOGÍA Y TERRITORIO", bgalvan@ull.es, chergomw@gobiernodecanarias.org

RESUMEN

Se presenta un estudio químico preliminar de los alcanos y de los ácidos grasos saturados aislados en muestras sedimentarias procedentes de distintos testimonios de combustión del yacimiento musteriense de El Salt, reconociéndose importantes diferencias entre ellos, lo que refleja distintos orígenes y la complejidad funcional del yacimiento.

ABSTRACT

We present a preliminary chemical study of alkanes and saturated fatty acids isolated from sedimentary samples from different evidences of combustion in the Mousterian site of El Salt. Important differences are recognized between them, which reflects different origins and the functional complexity of the site.

Palabras clave: Evidencias de combustión, Neandertal, Musteriense, Análisis Químico, Ácidos Grasos, Alcanos, Materia Orgánica, El Salt.

Key words: *Evidence of combustion, Neanderthal, Mousterian, Chemical Analysis, Fatty Acid, Alkanes, Organic Matter, El Salt.*

* Este trabajo se realiza en el marco del proyecto I+D: HUM2004-01427/HIST "Tras las Huellas de Los Neandertales. El origen del poblamiento humano en los valles alcoyanos" y con la autorización de la Dirección General de Patrimonio Cultural Valenciano y Museos (Consejería de Cultura, Educación y Deportes, Generalitat Valenciana).

Los restos de combustión constituyen uno de los testimonios arqueológicos más relevantes del yacimiento musteriense de El Salt (Alcoi, Alicante, España) (Fig.1), no sólo por su abundancia y extraordinario estado de conservación, sino también por la amplia variabilidad de manifestaciones reconocidas: estructuras de combustión propiamente dichas, grandes acumulaciones lenticulares de sedimento negruzco de apariencia carbonosa y amplios lechos sedimentarios subhorizontales que recubren gran parte del espacio ocupado.

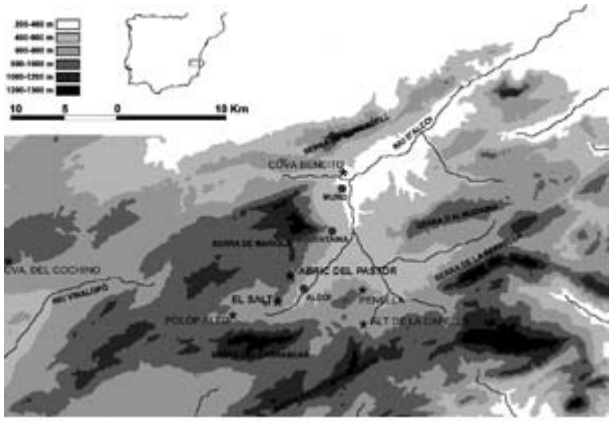


Figura 1. Yacimientos de Paleolítico Medio en los Valles de Alcoi.

Sin duda, su estudio es un pilar fundamental para interpretar los patrones de organización social del espacio por los neandertales que habitaron este lugar entre ca. 60 Ka BP y los inicios del Würmiense III.

Este trabajo pretende ser una aproximación inicial al tratamiento de los testimonios de combustión con una doble finalidad; valorar la potencialidad del análisis químico de estos sedimentos y, por otro lado, identificar y explicar las diferencias genéticas y funcionales entre los distintos tipos de depósitos sedimentarios considerados. Para ello analizaremos, en esta ocasión, los alcanos y los ácidos grasos saturados.

Se han estudiado dos series de muestras, una de origen arqueológico y otra de contraste, correspondiente a sedimentos naturales y a líquenes que crecen sobre el suelo y sobre el cantil travertínico que sirve de abrigo al yacimiento. El muestreo arqueológico se efectuó a partir de los perfiles estratigráficos en los niveles IX, X y XI. Varias dataciones de TL efectuadas por Valladas y Mercier sitúan los niveles IX-X entre 53.2 Ka +/- 3.5 BP y 46.9 Ka +/- 4.3 BP, coincidiendo con la fase final de apogeo en la ocupación de El Salt.

En el nivel IX se tomaron 5 muestras en un depósito lenticular de sedimento negruzco (V6). En el X se recuperaron otras 4 en una masa sedimentaria cuyas características son asociables a una estructura de combustión (X6) y, finalmente, en el nivel XI también se tomaron 5 muestras en toda la secuencia de una estructura de combustión (Z6) (Fig. 2 y 3).

Con cada una se llevó a cabo el liofilizado y molido; seguidamente se obtuvo un extracto con cloroformo y metanol que fue separado en dos fracciones según el método R.D. Mc Carthy y A.H. Dutthie, mediante una columna de sílice, impregnada por una mezcla de isopropanol-potasio. Una fracción con los ácidos orgánicos para su metilado posterior y otra con las moléculas neutras. La neutra, a su vez, fue separada en cuatro subfracciones por cromatografía líquida, mediante elución con una mezcla de heptano y de éter de polaridad creciente. Las distintas fracciones obtenidas se analizaron por cromatografía de

gases (GC) y cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masa (GC-MS), con un aparato Hewlett Packard (HP 6890 dispone en serie) equipado de una columna capilar HP-5 5% phenyl / methyl syloxane (Agilent 19091J-433). Las condiciones de cromatografía son de 40°C a 300°C, a un ritmo de 4°C / min. durante 30' a 300°C. La identificación de las diferentes moléculas se efectuó en relación con su tiempo de retención, su fragmentación en espectrometría de masa y comparando con las bibliotecas de espectrometría de masa (NBS75K y Wiley).

Muestra	Muestra
SN (sedimento natural)	X-X6-1 (SSR) Sedimento arenoso rojizo similar a la basa de V6
LT (liquen sobre travertino)	X-X6-2 (SNo) sedimento negro subyacente
LS (liquen sobre suelo)	X-X6-3 (SLG) sedimento limoso gris con base calcinada blanca
	X-X6-4 (SLR) sedimento limoso rojizo
IX-V6-1 (SL)(sedimento limoso)	IX-Z6-1 (base S10) sedimento limoso a la base de 10
IX-V6-2(SL-SN)(transición Sedimento limoso y sedimento negruzco)	IX-Z6-4 (Sno) Sedimento negruzco superior al área blanca
IX-V6-3 (SN) (sedimento negruzco)	IX-Z6-3 (SBl) área Blanca
IX-V6-4 (SN-ZT) (transición Sedimento Negruzco- Sedimento termo alterado)	IX-Z6-2 (SR SNo) Suelo alterado con base negruzca
IX-V6-5 (SSinf) (Sedimento arenoso inferior SS inf)	IX-Z6-5 (SN con hueso) suelo natural con hueso

Figura 2. Codificación y procedencia de las muestras.

Figura 3. Vista General de El Salt y posición de las muestras.

RESULTADOS

Las cantidades de materia orgánica detectadas en las diferentes muestras arqueológicas son por lo general relativamente débiles, inferiores a 3 ug/g, con la excepción de la muestra 4 de Z6 (sedimento negruzco) mucho más rica. En X6, es también el mismo tipo de sedimento el que posee la mayor cantidad de materia orgánica (muestra 2), mientras que para V6 predomina en la zona de transición entre dicho tipo de sedimento y el termoalterado (muestra 4). Los valores más altos están presentes en las muestras de contraste procedentes de los líquenes del suelo y en menor medida, de los del travertino (Fig. 4).

Sin embargo no parece existir relación entre las cantidades obtenidas y la composición química de cada muestra. Las concentraciones de ácidos, alcanos, cetonas y esteroles fluctúan entre las diversas muestras analizadas. La fracción ácida es casi siempre mayoritaria, seguida por las cetonas, alcanos y esteroles. Se ha podido constatar que las cantidades de ácidos y de alcanos son más importantes en los líquenes que en las muestras arqueológicas. A su vez, los esteroles dominan frente a los alcanos en los líquenes. Con respecto a las muestras arqueológicas, la proporción de alcanos es mayor en las zonas Z y V y más débil en X, donde predominan los ácidos, debido quizás a un origen o degradación diferencial de la materia orgánica entre estas tres series de muestras (Fig. 5).

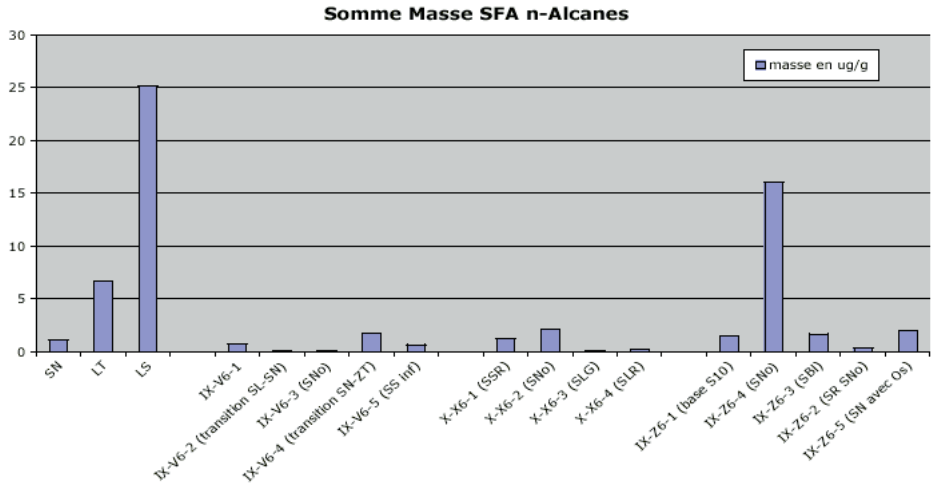


Figura 4. Cantidad de materia orgánica (concentraciones expresadas en ug/g) en les muestras analizadas de El Salt.

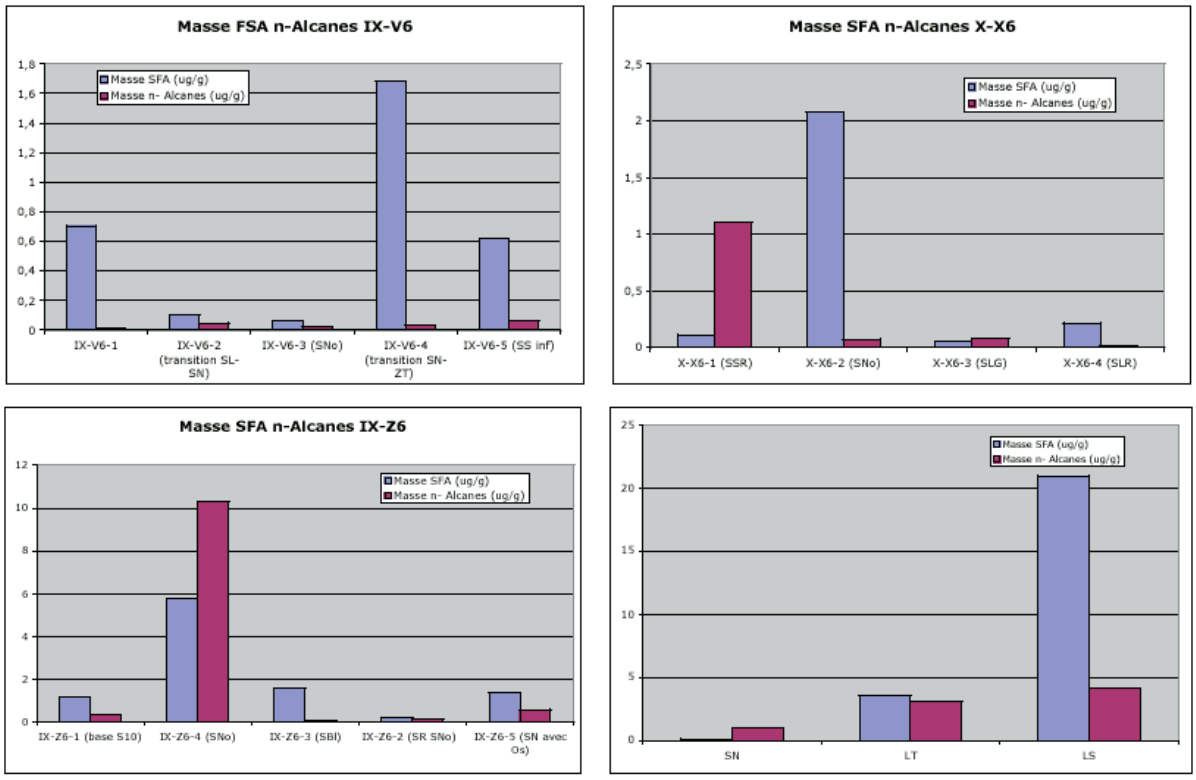


Figura 5. Distribución de la fracciones de ácidos grasos saturados y de los alcanos en las 17 extracciones.

Conservación de las muestras

El CPI (Carbon Preference Index) permite juzgar la conservación de la materia orgánica teniendo en cuenta la proporción entre las moléculas que presentan un número de átomos de carbono par o impar y se expresa según la fórmula siguiente (Fig. 6):

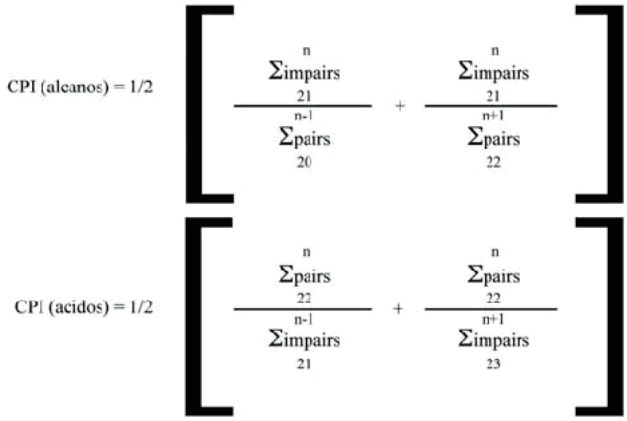


Figura 6. Fórmula del CPI (Pepe *et al.,* 1989). (n+1=número máximo de carbones observado).

Cuanto más próximo a 1 esté el CPI, mayor será el nivel de degradación de la muestra (Pepe *et al.,* 1989). Esta degradación puede obedecer a la pérdida natural de materia orgánica a lo largo del tiempo, o bien ser inducida por actividades antrópicas, particularmente las culinarias o de combustión (March, 1995; March y Soler, 1999).

Los CPI de las series analizadas son variados (Fig. 7), evidenciando un extraordinario grado de conservación de la materia orgánica en los niveles superioras de las columnas Z6 y X6. Otras muestras, sin embargo, pueden asociarse a suelos con una impronta antrópica más débil, presentando CPI alcanos más importantes que los de muestras supuestamente termoalteradas. Esta misma situación se repite para los CPI ácidos con la única excepción de X6-3 que tiene un valor extremadamente elevado, aberrante en el conjunto de datos obtenidos. Podría deberse quizás a que la materia orgánica es ínfima en este nivel, lo que da una dominancia muy marcada para los ácidos pares, mientras que los saturados impares están representados muy débilmente.

Igualmente observamos una conservación diferencial de los ácidos y de los alcanos en una misma muestra, lo que podría significar un origen diferente para las dos fracciones analizadas. Las cantidades ácidas son mucho más importantes en los residuos culinarios, mientras que los alcanos se dan en las cutículas de los vegetales degradados. Así, es probable que algunas de estas muestras tuvieran origen complejo e históricamente diferenciado, lo que deberá ser explicado.

Los alcanos están más degradados en V6 (salvo en los limos de la base), y en las tres capas inferiores de X6; en Z6 están generalmente bien conservados, excepto en el nivel de sedimento blancuzco. Los valores más débiles han sido constatados en las zonas que se han supuesto degradadas por la alteración térmica, V6-4, X6-3 y Z6-3. Por el contrario, aquellas capas cuyos alcanos presentan valores superiores a 2 no reflejan indicios de dicha alteración y donde son superiores a 4 cabe indicar un estado muy bueno de conservación.

Muestra	CPI Ácidos	CPI Alcanos	Muestra	CPI Ácidos	CPI Alcanos
SN (sedimento natural)	1,84	4,14	X-X6-1 (SSR)	2,22	6,79
LT (liquen sobre travertino)	1,72	5,42	X-X6-2 (SNo)	2,12	1,76
LS (liquen sobre suelo)	2,25	5,60	X-X6-3 (SLG)	13,8	0,80
			X-X6-4 (SLR)	4,63	1,24
X-V6-1	1,49	2,08	IX-Z6-1 (base S10)	4,88	6,66
X-V6-2 (transición SL-SN)	2,67	2,12	IX-Z6-4 (SNo)	2,15	7,83
X-V6-3 (SNo)	2,17	2,15	IX-Z6-3 (SBl)	2,57	1,90
X-V6-4 (transición SN-ZT)	1,05	1,40	IX-Z6-2 (SR SNo)	1,68	4,96
X-V6-5 (SS inf)	3,60	4,61	IX-Z6-5 (SN con hueso)	3,01	4,88

Figura 7. CPI de ácidos grasos y de n-alcanos de las muestras estudiadas.

En cuanto a los ácidos, más degradados en general, manifiestan valores coherentes con otras muestras arqueológicas de yacimientos paleolíticos anteriormente estudiados (March *et al.,* 2006). En este caso los valores más bajos del CPI ácido son debidos esencialmente a la presencia de los ácidos impares de larga cadena, pero también a los valores débiles de los ácidos saturados pares de cadena larga y de origen vegetal preferente. Esto podría indicar para los de nuestras muestras un origen animal dominante, mientras que los alcanos reflejarían mejor la génesis vegetal.

n-alcanos

La distribución del cortejo de n-alcanos en cada subconjunto de muestras permite comprobar que no es del todo homogénea y muchos de los de cadena larga son siempre mayoritarios. En primer lugar, las muestras del liquen de suelo y del liquen del travertino son ligeramente diferentes, mostrando alcanos dominantes en C_{31} y C_{29}, respectivamente (Fig. 8). El suelo natural presenta un perfil similar al del liquen crecido en el suelo, pero con una ligera tendencia hacia los alcanos de cadena corta. Esto no quiere decir, de ninguna manera, que los alcanos del suelo provengan de líquenes hoy desaparecidos, ya que otras familias de plantas evidencian distribuciones similares. Aunque se ha decidido no tratar aquí otras moléculas estudiadas (esteroles y cetonas), es importante señalar que predominan en los líquenes y están ausentes en las muestras arqueológicas. La ausencia de los esteroles podría explicarse por su rápida degradación después del enterramiento de los suelos recubiertos por líquenes, pero no es el caso de las cetonas derivadas de los mismos esteroles, que se conservan mejor que aquéllos, más difícilmente oxidables. De cualquier manera, la posibilidad de una contaminación de ciertas muestras por líquenes es siempre factible. La distribución de n-alcanos de las muestras arqueológicas es sensiblemente diferente según el lugar de muestreo. El más alejado de los perfiles naturales observados es el de la columna perteneciente a V6, seguida por X6 y, finalmente, por la columna de Z6.

Los sedimentos limosos con carbón de V6-1 muestran un perfil bimodal con dos alcanos mayoritarios en C_{27} y C_{21}, ligados a la presencia de restos de combustible en la muestra. El de transición subyacente posee degradación similar y un perfil de alcanos unimodal, centrado en C_{29}. Por su parte, el negruzco tiene un perfil con una degradación parecida dominante en C_{23}. La transición con la tierra termoalterada ofrece una degradación más importante y una distribución predominante en C_{33}. Finalmente, la muestra de sedimento arenoso inferior es mayoritaria en C_{31} y está sensiblemente mejor conservada. El origen de los alcanos de estas muestras parece ser netamente diferente a las distribuciones mayoritarias en alcanos comprendidos entre C_{21} y C_{25} que han sido observadas frecuentemente en las muestras de carbones de madera o de desechos culinarios, los n-alcanos de otras muestras parecen tener origen vegetal.

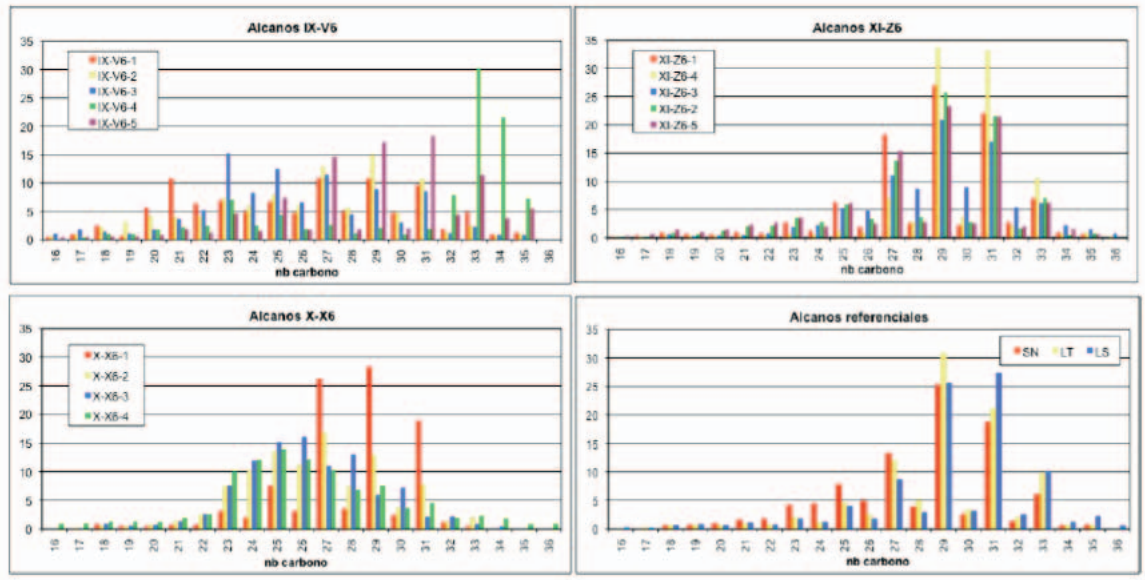


Figura 8. distribución de los alcanos en las muestras de El Salt.

En X6 se manifiestan distribuciones unimodales centradas en C_{29}, C_{27}, C_{26} y C_{25} de arriba a abajo. La única bien conservada es la muestra superior de sedimento arenoso similar al descrito para la base de V6, pero con una composición diferente. Las otras tres ofrecen signos de evidente degradación, debido a la presencia de carbonatos. Este conjunto de alcanos señalaría el origen vegetal del depósito, siendo interesante comprobar el desplazamiento vertical de su distribución, que quizás puede estar evocando una continua degradación en su secuencia. Tal vez se trate de elementos de origen vegetal sometidos a bajas temperaturas o de una degradación bacteriana de los sedimentos más profundos, en cuyo caso no sería coherente con la idea de un depósito contemporáneo, sino con la de una diferencia significativa en el tiempo de deposición de estas muestras.

Finalmente, las muestras procedentes de la columna tomada en Z6 poseen perfiles similares en la distribución de n-alcanos que predomina en C_{29}. La mejor conservada es la del sedimento blanquecino. Por primera vez detectamos una serie de perfiles con distribución coincidente, lo que podría indicar cierta continuidad y proximidad temporal de los depósitos, con una mayor termoalteración de los sedimentos de la capa blanquecina, asimilada a las cenizas. No presenta los n-alcanos de cadena corta característicos de este tipo de depósito. Si se trata de cenizas, su termoalteración fue tan importante que la materia orgánica disminuyó, hallándose la capa

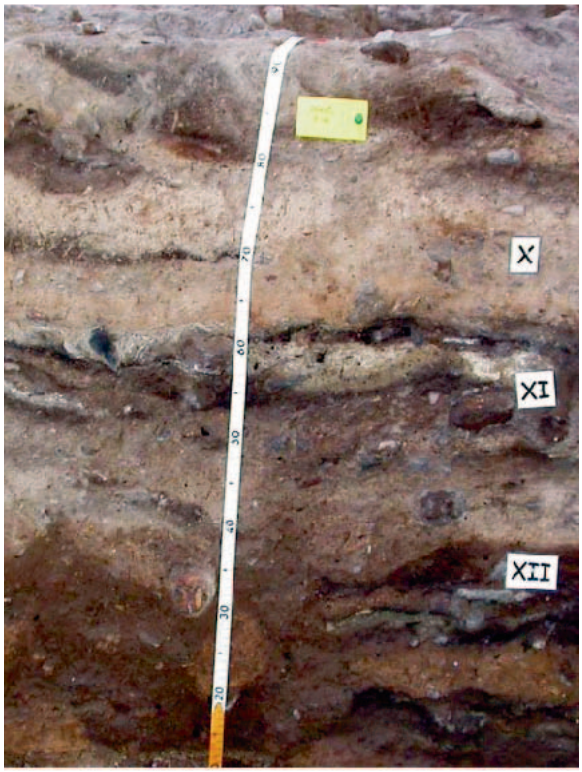


Figura 9. Secuencia estratigráfica en Z6.

ligeramente contaminada por la superior muy rica en materia orgánica. La distribución aplanada de Z6-3 quizás puede ser asociada a un fenómeno de combustión como el observado en las rocas termoalteradas. Los alcanos de cadenas largas presentan igualmente una degradación fuerte bajo la forma de una distribución aplanada que se traduce en un CPI inferior a 1. Esto se debe a la oxidación de los alcanos que, primeramente, acorta la diferencia natural entre las cadenas pares e impares y, progresivamente, desvía esta distribución hacia las cadenas cortas, traduciendo una degradación fuerte, en general, de origen térmico. Puede encontrarse en las cenizas, pero la hemos podido percibir en la cocción experimental de un asado de carme sobre piedra calentada. La ausencia de alcanos de cadena corta inferior a C_{19} ha sido observada frecuentemente en las estructuras de combustión prehistóricas (March, 1995; March y Soler, 1999; March y Lucquin, e.p.),

Ácidos Grasos

La heterogeneidad de las muestras es más marcada en la fracción que contiene los ácidos grasos (Fig. 10). Los de cadena larga son indicadores de la presencia de elementos de origen vegetal, sin embargo, no ocurre lo mismo con los de cadena corta, ya que pueden generarse en diversos procesos tanto de origen animal como vegetal.

La sucesión analizada en la columna V6 se caracteriza por una fluctuación muy marcada: en las capas de transición y de sedimento negruzco se da un predominio de los ácidos grasos de cadena corta, hallándose la negruzca más equilibrada, mientras que en la capa superior y en las subyacentes a estas dos últimas se dan mayoritariamente los ácidos grasos de cadenas largas.

No es el caso de las muestras procedentes de la columna tomada en X6 que presenta sistemáticamente ácidos grasos de cadena corta mayoritaria y en proporciones similares. La columna tomada en Z6 tiene características diferentes, las cuatro primeras muestras, correspondientes a los sedimentos negruzcos y

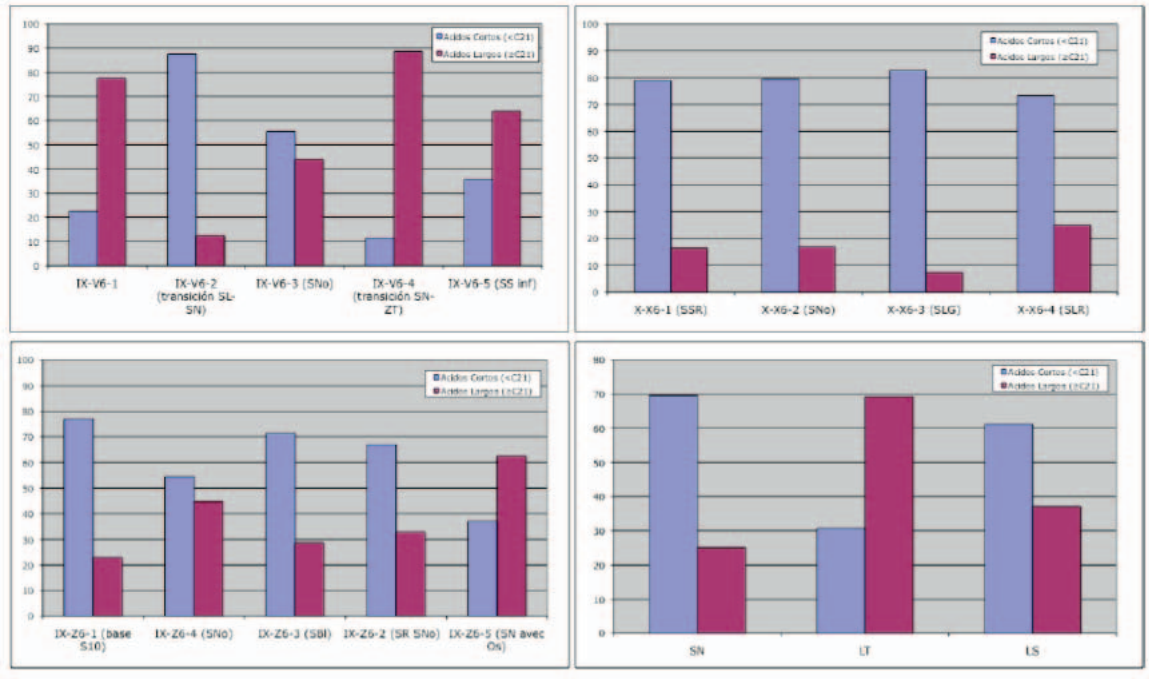


Figura 10. Comparación de la longitud de los ácidos grasos saturados (cortos < C_{21}, largos >C_{22}).

a los considerados como cenizas contienen ácidos grasos saturados predominantemente cortos, mientras que la inferior, suelo considerado natural, difiere del conjunto al presentar un predominio de los ácidos largos.

V6 posee ácidos grasos de cadena larga, comprendidos entre C_{26} y C_{34}, mientras que el espectro es mucho más restringido en X6, donde los ácidos grasos largos se limitan como máximo a C_{28}. Para Z6, estos ácidos grasos largos superiores a C_{26}, se hallan sobre todo en el sedimento subyacente (Fig. 11).

Las relaciones entre los ácidos de cadena corta son distintas entre sí y dependiendo de las muestras. En X6 se identifican más ácidos de cadena corta inferiores a C_{14} que en las restantes, donde se conservan en proporciones muy débiles. Tal circunstancia acercaría la muestra a un origen animal frente al resto donde se reconocen mezclas más marcadas de los ácidos de origen vegetal y animal.

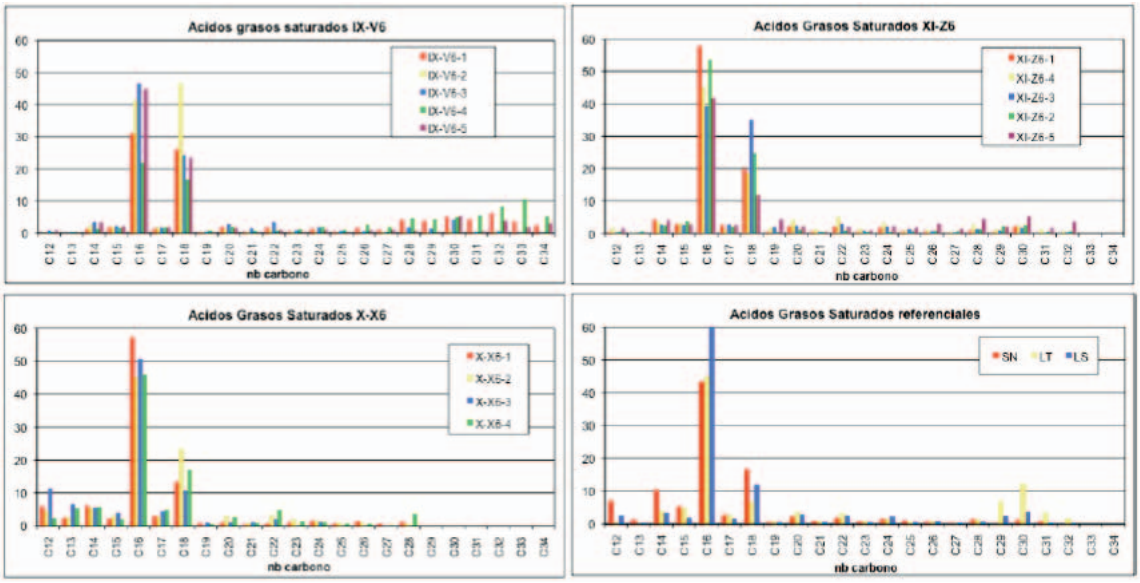


Figura 11. Distribución de los ácidos grasos saturados (en función de su número de C).

Las relaciones entre C_{16} y C_{18}, frecuentemente utilizadas para la identificación del origen animal, varían de forma marcada. En V6, estos valores son muy débiles, inferiores a 2, e incluso a 1. Lo mismo que en la capa de sedimento negruzco de X6 y en el sedimento blanquecino de Z6. Igualmente podemos señalar la ausencia de CPI equivalentes a los obtenidos para las muestras de liquen. Sólo la situada en X6-3 se aproxima a estos valores, aunque con una distribución de los ácidos completamente distinta (Fig. 11 y 12).

Por tanto, la destacada presencia de ácidos grasos de cadenas cortas sobre todo bajo la forma de ácido palmítico (C_{16}) y esteárico (C_{18}) nos permite plantear un aporte de origen animal, que podría pertenecer a distintos herbívoros: cérvidos, cápridos o bóvidos, y quizás caballos en los que poseen relaciones más elevadas, todos ellos bien representados en el registro arqueofaunístico de El Salt. No obstante, se hallan en estudio restos de egagrópilas y de lagomorfos, relacionados principalmente con aportes naturales debidos a la presencia de rapaces en el entorno del yacimiento, por lo que se debe ser prudente con las inferencias iniciales.

Podemos completar estas primeras hipótesis con el análisis de otras familias de moléculas contenidas en las muestras. Los ácidos grasos lineales no son los únicos ácidos orgánicospresentes. La familia de los

Muestra	Relación 14/18	Relación 16/18	Muestra	Relación 14/18	Relación 16/18
SN	0,22	2,32	IX-V6-1	0,03	1,07
LT	0,08	6,01	IX-V6-2 (transición SL-SN)	0,05	0,79
LS	0,05	4,50	IX-V6-3 (SNo)	0,06	1,71
			IX-V6-4 (transición SN-ZT)	0,05	1,16
			IX-V6-5 (SS inf)	0,06	1,717
X-X6-1 (SSR)	0,10	3,85	IX-Z6-1 (base S10)	0,06	2,63
X-X6-2 (SNo)	0,10	1,74	IX-Z6-4 (SNo)	0,07	2,19
X-X6-3 (SLG)	0,10	4,21	IX-Z6-3 (SBl)	0,06	1,00
X-X6-4 (SLR)	0,11	2,41	IX-Z6-2 (SR SNo)	0,04	1,93
			IX-Z6-5 (SN con hueso)	0,09	3,17

Figura 12. Relaciones C_{16}/C_{18} de las muestras analizadas.

dicarboxílicos también está documentada. Las moléculas de cadenas cortas (≤12) son productos de la oxidación secundaria de los ácidos grasos insaturados libres o estearificados. La longitud de los diácidos producidos corresponde a la posición de la insaturación en la cadena carbonatada del ácido oxidado, cada ácido insaturado da origen a un diácido primario principal, correspondiente al primer enlace doble y al diácido secundario, que posee dos átomos de carbono menos. Por ejemplo, a partir del ácido linoleico ($C_{18:2}$ (9,12)), obtenemos como diácido primario, el azelaico (C_9) y como secundario, el pimélico (C_7) (Passi *et al.,* 1993).

Estas reacciones se producen durante la cocción (March y Lucquin, e.p.), como se ha podido comprobar en nuestras experimentaciones de cocción de salmón, buey y cordero por asado sobre rocas calentadas, donde se ha detectado en cantidades significativas, generalmente con ácido azelaico (C_9) como diácido principal. Aunque también pueden darse, ante ciertas condiciones, por la degradación natural de los lípidos (Passy *et al.,* 1993; Regert *et al.,* 1998).

Estos ácidos están presentes en las muestras de sedimentos acompañados por diácidos con una cadena carbonatada más larga, como el ácido docosanedioico (C_{22}) que entonces es mayoritario. Estos diácidos de cadenas largas han sido encontrados en los residuos orgánicos producidos por el humo de diferentes maderas (Fine *et al.,* 2001; Fine *et al.,* 2002); sin embargo, todavía no se han identificado en las muestras analizadas, en las que se detectan sobre todo ácidos de cadena corta y una distribución eje sobre C_{16} y C_{18}, mientras que los hemos aislado en las muestras donde abundan los ácidos largos.

Parece que provienen de la degradación natural de los ácidos grasos insaturados, al menos para las cadenas cortas, pero no podemos excluir que tengan su origen en fenómenos de combustión de la madera. Sin embargo, es interesante observar que allí donde los ácidos grasos insaturados están mejor conservados, estos diácidos están casi ausentes. La inexistencia de diácidos de cadena larga nos confirma que estas moléculas tienen un origen diferente. Pensamos que nos hallamos ante el caso descrito anteriormente de diácido formado por la alteración de los ácidos grasos insaturados en el curso de la cocción. Entonces, otros diácidos estarían en cantidad demasiado débil para poder ser identificados. La presencia de este único diácido traduciría una composición original de ácidos grasos, en su mayoría insaturados, sobre el noveno carbono, dando lugar de manera preferencial al ácido azclaico.

En cambio, comprobamos también la presencia de ácidos grasos insaturados en varias muestras, esencialmente las que están bien conservadas y constan de isómeros de $C_{16:1}$ y $C_{18:1}$, que es el ácido saturado dominante. También hay $C_{18:2}$ en pequeña cantidad. Proporciones insignificantes de $C_{18:3}$ han sido halladas solamente en las muestras de líquenes actuales. La presencia de tales ácidos grasos insaturados traduce una conservación muy buena de la materia orgánica.

Balance del estudio de los ácidos grasos y los alcanos con los esteroides

El análisis de las muestras de El Salt nos ha permitido un primer contacto con depósitos sedimentarios de diversas características, reconociendo diferencias nítidas entre ellos, por lo que parece que presentan orígenes complejos, fruto de historias muy distintas. Da la impresión de que en Z6 y X6 las columnas corresponden a diferentes estructuras de combustión *in situ,* mientras que en V6, la degradación de las muestras nos hace pensar en una estructuración diferente de los testimonios sedimentarios o en acciones de limpieza de hogares que hayan podido hacer desaparecer los sedimentos cenicientos.

También hemos constatado que algunas de estas estructuras, Z6, estaban recubiertas por capas de materia orgánica muy bien conservada y no vinculada solamente a fenómenos de combustión de madera. Una buena parte de las muestras analizadas presenta grasas de origen animal intercaladas con capas de materia orgánica de origen vegetal. Así mismo, algunas capas, ante su incoherencia térmica, comparten grandes similitudes con depósitos de vaciados de hogares. El reacondicionamiento del espacio lleva consigo el desplazamiento de las estructuras, a veces muy próximas entre sí, lo que en ocasiones podría haber transformado los antiguos hogares en áreas de desecho.

Del mismo modo parece que los procesos de acumulación de estas capas varían en ciertos casos en cuanto a su duración en el tiempo, continuidad y degradación de las firmas químicas, y en otros, en relación con su discontinuidad y contenido diferente de dichas firmas. Esto abre nuevas perspectivas para el análisis de los hogares de El Salt, lo que se revela más que prometedor visto el estado de conservación de las muestras analizadas.

Los resultados de los estudios de las fracciones esteroidales muestran una buena conservación del espectro de esteroides que oscila entre 14 y 2 moléculas por muestra, esencialmente esteroles y cetonas. Dentro de ese espectro se puede observar la presencia de colesterol, coprostanol, colestanol y de varios derivados de los esteroles de origen animal en prácticamente todas las muestras analizadas.

Igualmente, evidencian un excelente estado de conservación de los esteroles vegetales siendo los mas frecuentes, β-sitosterol, campesterol, stigmasterol o lupeol, así como otros productos como derivados de la friedelina, en las muestras de ácidos saturados de cadena larga mayoritarios. Dentro del espectro esteroidal se observa una variabilidad que no parece corresponder con la homogeneidad del espectro antracológico de El Salt caracterizada esencialmente por la presencia de *Pinus nigra.*

De manera más esporádica también fueron observados productos de la degradación bacteriana como los hopanoideos.

Si analizamos la distribución de las moléculas mejor representadas (Fig. 13) se puede observar que varias de ellas presentan una dominancia de los productos de origen animal. El colesterol y el colestanol predominan en la mayoría de las muestras de Z6, salvo en el sedimento limoso superior y en el negruzco superpuesto al área blanca donde se observa una preponderancia de los esteroles vegetales. Podemos apreciar la presencia de coprostanol en el suelo natural subyacente a la estructura y su ausencia en los contextos relacionados con la combustión. Los compuestos vegetales están dominados por el sitosterol y el campesterol no detectándose aquí el stigmastanol.

Los esteroles están peor conservados en X6, sin embargo se pueden observar aquí también diferencias entre cada una de las capas. Así, el sedimento arenoso rojizo superior (XI-1) se caracteriza por la presencia mayoritaria de esteroles animales, colestanol y colesterol, junto al coprosterol. Dichos lípidos de origen animal están acompañados por el β-sitosterol y el stigmastanol, ausente en las muestras descritas precedentemente, mientras que no se hallaron ni el lupeol, ni el campesterol, lo que indica un cambio importante en el espectro vegetal. Los sedimentos negro, gris blanco y rojizo, subyacentes al sedimento

natural, presentan una alteración más importante y se caracterizan por una fluctuación entre la composición animal y vegetal, siempre con una fuerte impronta animal.

Finalmente, los esteroides vegetales son mayoritarios en V6, lo que confirma un origen diferente de las muestras de esta parte del yacimiento en la que domina el espectro vegetal. Se observa, sin embargo, que el conjunto del espectro vegetal analizado en las capas inferiores está más restringido en las capas superiores de la estructura. Estos cambios también eran visibles en la fracción alcanos. Sería interesante analizar en profundidad esta covariabilidad que esta también presente en X6 y, por el contarrio, ausente en Z6, explorando las posibilidades taxonómicas de dicha relación. Es importante señalar que aquí también la presencia de coprostanol se sitúa en la capa superior y en el sedimento arenoso inferior. La recurrencia de la asociación entre coprostanol y sedimentos sin alteración térmica puede permitirnos inferir una relación entre la presencia de heces y los períodos en los que se formaron estas capas sedimentarias, contribuyendo a su explicación en términos de procesos tafonómicos, o bien como reflejo de la alternancia funcional en la utilización del espacio de hábitat.

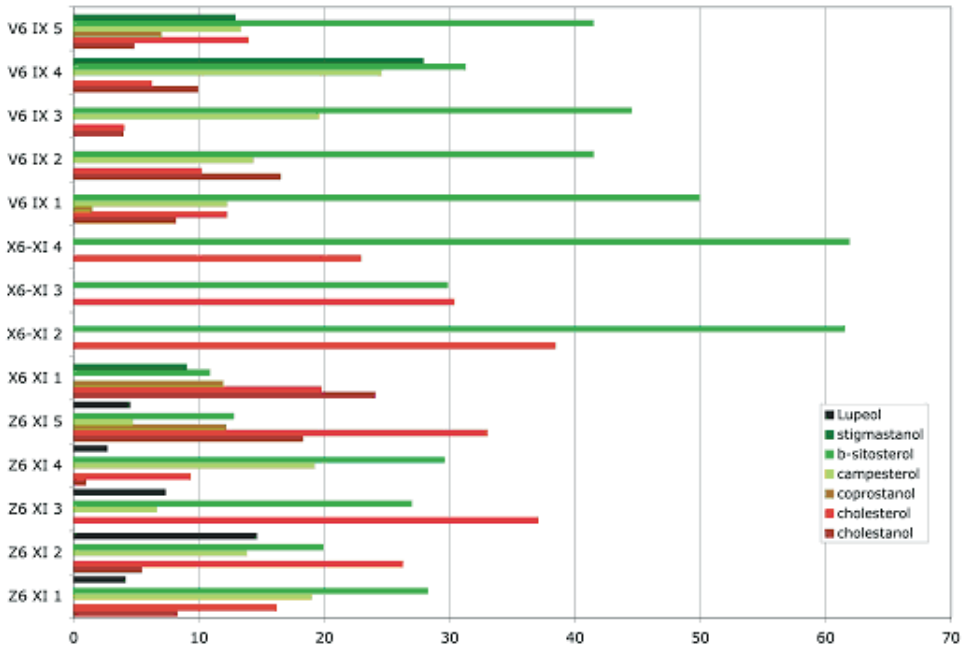


Figura 13. Distribución de los esteroides más frecuentes encontrados en las muestras arqueológicas de El Salt.

A modo de síntesis cabe indicar que:

- Varias muestras de El Salt presentan lípidos de origen animal predominante. Algunas de ellas, situadas siempre en sedimentos sin restos de combustión, tienen trazas que podrían provenir de heces. En otros casos, dichos lípidos son de origen animal sin contaminación fecal. Estos últimos son recurrentes en los sedimentos interpretados como estructuras de combustión y podrían resultar entonces de actividades culinarias.
- En términos generales, el espectro vegetal es mayoritario en las muestras analizadas y presenta covariabilidad entre los alcanos y los esteroides, y una variabilidad entre estructuras y capas analizadas en lo que merecería profundizar.

- Si bien la presencia de líquenes podría explicar el origen de algunas de las muestras analizadas, la distribución de alcanos y esteroles encontrados no coincide necesariamente con ello, demostrando que dicho espectro vegetal es variado. Esto es muy interesante ya que el registro antracológico testimonia la presencia dominante de *Pinus nigra.* Así, podemos observar que el lupeol ha sido solamente identificado en Z6 y el campesterol está ausente en X6. Del mismo modo, el estigmastanol está presente en la base de la columna V6 y en el techo de X6, desapareciendo en el nivel inferior (cambios en la vegetación o en los vegetales utilizados).
- Finalmente, varias familias de plantas podrían estar presentes en El Salt. Sería interesante profundizar este aspecto de la investigación comparándolo con curvas polínicas regionales y con los restos antracológicos.
- Las muestras tomadas próximas a la zona de combustión en Z6, son las que contienen mayor proporción de grasas animales. Pero en éstas los alcanos no manifiestan efectos de termoalteración. Las de la columna de X6 también contienen un alto porcentaje de grasa de origen animal, sin embargo éstas parecen estar termoalteradas. Las grasas de origen vegetal son claramente dominantes en la columna V6, y asimismo son levemente mayoritarias en X6, salvo en la muestra superior.
- Es difícil aventurarse en este momento de la investigación sobre el posible origen de los lípidos encontrados de manera específica. Sin embargo, el análisis del espectro de ácidos grasos cortos tiende a mostrar que sus distribuciones no son las características de los líquenes. Esto implicaría que son preferentemente animales. La dominancia de esteroles animales en varias de las muestras analizadas parece confirmarlo. Las especies que podrían corresponder a dichos espectros están próximas a los grupos de mamíferos de gran tamaño identificados en El Salt. El análisis de dicha posibilidad y su comparación con muestras representativas de los procesos tafonómicos de origen animal de El Salt será el objeto de otro artículo.

BIBLIOGRAFÍA

BELITZ, H.D. y GROSCH, W. 1999: *Food Chemistr*. Springer.

FINE, P.M.; CASS, G.R. y SIMONEIT, B.T. 2001: "Chemical Characterization of Fine Particle Emissions from Fireplace Combustion of Woods Grown in the Northeastern United Status". *Environ. Sci. Technol* 35: 2665-2675.

FINE, P.M.; CASS, G.R. y SIMONEIT, B.T. 2002: "Chemical Characterization of Fine Particle Emissions from Fireplace Combustion of Woods Grown in the Northeastern United Status". *Environ. Sci. Technol* 36: 1442-1451.

FUMANAL, P. 1994: "El yacimiento musteriense de El Salt (Alcoi, País Valenciano). Rasgos geomorfológicos y climatoestratigrafía de sus registros". *Saguntum,* PLAV, 27: 39-55.

GALVÁN, B.; HERNÁNDEZ, C.M.; ALBERTO,V.; BARRO, A.; FRANCISCO, M.I. y RODRÍGUEZ, A. 2001: "Las sociedades cazadoras-recolectoras neandertalianas en los Valles de Alcoi (Alicante, España). El Salt como un centro de intervención referencial". *Tabona,* 10, Universidad de la Laguna: 7-33.

GALVÁN, B.; HERNÁNDEZ, C.M.; FRANCISCO, M.I. y RODRÍGUEZ, A. 2006a: "Datos para la caracterización del Final del Musteriense en los valles de Alcoi", en: V. Cabrera, F. Bernaldo de Quirós y J.M. Maillo (eds.): *En el centenario de la Cueva del Castillo: el ocaso de los Neandertales.* UNED. Cantabria: 129-141.

GALVÁN, B.; HERNÁNDEZ, C.M. y FRANCISCO, M.I. 2006b: "Territorio y producción lítica en los valles de Alcoy (Alicante) durante el Paleolítico Medio. Aproximación al modo de vida de los neandertales en la

montaña Alicantina", en G. Martínez Fernández, A. Morgado Rodríguez y J.A. Afonso Marrero (coords.): *Sociedades Prehistóricas, Recursos abióticos y Territorio. Actas de la IIIª Reunión de trabajo sobre aprovisionamiento de recursos abióticos en la Prehistoria.* Loja. Granada: 135-158.

GÜLAÇAR, F.O.; SUDINI, A. y KLOHN, M. 1990: "Preservation and post-mortem transformations of lipids in samples from a 4000-year-old Nubian mummy". *Journal of Archaeological Science* 17: 691-705.

MARCH, R.J. 1995: "Étude des structures de combustion en archéologie". *Annales de la fondation Fyssen* 10: 53-68

MARCH, R.J. 1996: "L'étude des structures de combustion préhistoriques: une approche interdisciplinaire". *XIX UISPP Congreso. Colloquium IX,* 5. Forlí Abaco: 251-275.

MARCH, R.J. 1999: "Chimie organique appliquée à l'étude des structures de combustion du site de Túnel I". *Revue d'archéometrie* 23: 127-156.

MARCH, R.J. y SOLER, B. 1999: "Etude de cas: analyse fonctionnelle de la structure 1". En: M. Julien, y J.L. Rieu (dir): *Occupations du paléolithique supérieur dans le sud-est du Bassin parisien, D.A.F. 78.* Paris. MSH: 102-129.

MARCH, R.J.; DUMARÇAY, G.; LUCQUIN, A.; JOLY, D. 2006: "Les activités liées à l'utilisation du feu". En: *Un dernier hiver à Pincevent, Les magdaléniens du Niveau IV-0 Gallia Préhistoire Tome 48 2006.* P. Bodu; M. Julien; B. Valentin y G. Debut, Ed. A. Averbouh; C. Bemilli; O. Bignon; P. Bodu; G. Debout; G. Dumarçay; J.G. Enloe; D. Joly; M. Julien; A. Lucquin; R. March; M. Orliac; M. Vanhaeren y V. Valentin: 89-108.

MARCH, R.J.; LUCQUIN, A. y DUMARÇAY, G. 2006: En: *Un dernier hiver à Pincevent, Les magdaléniens du Niveau IV-0 Gallia Préhistoire Tome 48 2006.* P. Bodu; M. Julien; B. Valentin y G. Debut, Ed. A. Averbouh; C. Bemilli; O. Bignon; P. Bodu; G. Debout; G. Dumarçay; J.G. Enloe; D. Joly; M. Julien; A. Lucquin; R. March; M. Orliac; M. Vanhaeren y V. Valentin: 109-1116.

MARCH, R.J. y LUCQUIN, A. (en prensa): "Under cooking and firing: Chemical analysis of fat residues from experimental and archaeological data". In *Animal Fats and Oils: Approaches and Significance, ICAZ Durham 2002 - 9th Conference of the International Council of Archaeozoology (ICAZ) 23rd - 28th August 2002.*

PASSI, S.; PICARDO, M.; DE LUCA, CH.; NAZZARO-PORRO, M.; ROSSI, L. y ROTILIO, G. 1993: "Saturated dicarboxylic acids as products of unsaturated fatty acid oxidation". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism, Volume 1168,* Issue 2, 12 June: 190-198.

PEPE, C.; DIZABO, P.; SCRIBE, P.; DAGAUT, J.; FILLAUX, J. y SAILLOT, A. 1989: "Les marqueurs biogeochimiques: application à l'archéologie". *Revue d'Archéometrie,* 13: 1-12.

REGERT, M.; BLAND, H.A.; DUDD, S.; VAN BERGEN, P.F. y EVERSHED, R.P. 1998: "Free and bound fatty acid oxydation products in archaeological ceramic vessels". *Proccedings of the Royal Society of London Series B- biological sciences* 265: 2027-2032.

SCHÜPFER, P.Y. y GÜLAÇAR, F.O. 2000: "Relative stabilities of cholestadienes calculated by molecular mechanics and semi-empirical methods: application to the acid-catalyzed rearrangement reactions of cholesta-3,5-diene". *Organic Geochemistry* 31: 1589-1596.

SIMONSEN, J.S. y ROSS, W.C.J. 1957: *The Terpenes, volume IV, the triterpenes and their derivatives: Hydrocarbons, alcohols, hydroxy-aldehydes, ketones and hydroxy-ketones.* Cambridge University Press.

VOLKMAN, J.K.; ROHJANS, D.; RULLKÖTTER, J.; SCHOLZ-BÖTTCHER, B.M. y LIEBEZEIT, G. 2000: "Sources and diagenesis of organic matter in tidal flat sediments from the German Wadden Sea". *Continental Shelf Research* 20:1139-1158.

INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS ABIÓTICOS EN LA PREHISTORIA RECIENTE DE TIERRA DE BARROS Y SIERRA MORENA OCCIDENTAL

RESEARCH ON ABIOTIC RESOURCES IN THE RECENT PREHISTORY IN TIERRA DE BARROS AND WESTERN SIERRA MORENA

J.J. ALMARZA LÓPEZ[1], J. CASTAIGN[3], M. E. COSTA CARAMÉ[2], M. FORTEZA GONZÁLEZ[1], M.J. HERNANDEZ ARNEDO[1], M. HUNT ORTIZ[2], V. HURTADO PÉREZ[2], C. ODRIOZOLA LLORET[4], A. POLVORINOS DEL RÍO[1]

(1) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla. Prf. García González s/n 41012 Sevilla.
(2) Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla. María de Padilla s/n 41004 Sevilla.
(3) CNRS. Centre de recherche et de restauration des musées de C2RM. Paris.
(4) CSIC. Instituto de Ciencia de los Materiales. Americo Vespucio 49. 41092 Sevilla.

RESUMEN

En este trabajo se presentan las investigaciones de base arqueométrica que se están llevando a cabo con objeto de conocer los sistemas de abastecimiento de recursos abióticos de las comunidades del III y II milenio ANE en los territorios de Tierra de Barros (Badajoz) y Sierra Morena occidental (Huelva y Sevilla), a partir del análisis de artefactos elaborados con arcilla, rocas y rocas metalíferas, procedentes de contextos habitacionales y funerarios de excavaciones y prospecciones arqueológicas. Otros análisis, entre los que se incluyen los de Isótopos de Plomo, se realizan sobre muestras de materias primas obtenidas en las prospecciones geológicas del entorno, con la finalidad de establecer la relación de procedencia de los objetos manufacturados y los depósitos de los que se obtuvo el mineral.

ABSTRACT

In this work the archaeometric-based research being carried out on abiotic procurement systems of the communities of the 3rd and 2nd millennia BC in the regions of Tierra de Barros (Badajoz) and West Sierra Morena (Huelva and Sevilla), gained from analyses of artefacts made of ceramic, rocks and metals, recovered from funerary and habitational contexts through archaeological surveys and excavations, is presented. Other analyses, among them Lead Isotopes, have been done on raw material samples obtained by geological surveys in the surrounding areas, with the aim of establishing the relationship of provenance between the manufactured objects and the deposits where the raw materials were obtained from.

Palabras clave: recursos abióticos, arqueometría, cerámica, arcilla, rocas, metal, procedencia, abastecimiento, territorios, Cuenca Media del Guadiana, Sierra Morena Occidental, Calcolítico, Edad del Bronce, DRX, FTIR, XRF, SEM-EDAX, reflectancia difusa, isótopos de plomo.

Key words: *abiotic resources, archaeometry, ceramic, clay, rocks, metal, provenance, procurement, territory, Middle Guadiana Basin, West Sierra Morena, Chalcolithic, Bronze Age, XRD, FTIR, XRF, SEM-EDAX, diffuse reflectance, lead isotopes.*

Durante el III y II milenio cal ANE las formaciones sociales que ocupan el Suroeste de la Península Ibérica se ven inmersas en una serie de procesos de cambio que afectan a las esferas demográfica, productiva, socio-política e ideológica. Uno de los aspectos más relevantes para la comprensión de estos procesos de cambio es la diversificación e intensificación de la explotación de recursos abióticos (especialmente los minero-metalúrgicos, dada la significación económica, social e ideológica que la metalurgia y el rol de los metales adquieren en la Edad del Bronce). Otras materias primas explotadas y manipuladas con tecnologías menos novedosas que la metalurgia (ya muestran una antigua relación con las economías humanas), experimentan asimismo patrones cada vez más complejos de explotación, uso y significación social y religiosa. Es el caso de las arcillas empleadas en la producción de recipientes cerámicos, las decoraciones cerámicas, las rocas silíceas empleadas en la manufactura de medios de producción tales como láminas, microlitos y puntas de flecha, las calizas y mármoles utilizados en la elaboración de representaciones idólicas, así como otros tipos de materias primas inorgánicas empleadas en contextos funerarios por su fuerte significación simbólica (cristal de roca, cuarzo, coral, rocas volcánicas, rocas graníticas, ámbar, etc.).

Con objeto de avanzar en la interpretación de los procesos de aprovisionamiento de recursos abióticos se planteó un Proyecto interdisciplinar entre geólogos, químicos y arqueólogos que se está llevando a cabo actualmente a través del programa I+D del MEC[1] aplicado a los territorios comprendidos entre los cursos medio-bajo de los ríos Guadiana y Guadalquivir durante el III y II milenios cal ANE. Para ello se han tomado como modelos comparativos dos ámbitos geográficos diferentes, la cuenca media del Guadiana y las estribaciones occidentales de Sierra Morena occidental (Fig. 1), tomando como referencia el marco de un conocimiento arqueológico acumulado por las prospecciones y las excavaciones que hemos previamente realizado en contextos habitacionales y funerarios de estas áreas.

El proyecto se apoya, pues, en dos pilares epistemológicos y metodológicos. El primero es de carácter contextual-territorial, puesto que los artefactos a analizar proceden de asentamientos y lugares funerarios excavados por nosotros en los últimos 15 años, que a su vez se ubican en territorios que han sido objeto de prospecciones de superficie sistemáticas y de los que, por tanto, existe un marco ya conocido de poblamiento prehistórico. El segundo es de carácter científico-técnico, ya que este proyecto se fundamenta en la aplicación de técnicas de análisis arqueométricas, para la caracterización de materiales cerámicos, metálicos y pétreos, tanto a nivel de artefactos acabados como de residuos y productos intermedios de la producción en las que, igualmente, venimos desarrollando experimentos y aplicaciones empíricas desde hace una década.

ÁREAS GEOGRÁFICAS

En la cuenca media del Guadiana (Badajoz) realizamos desde hace 10 años un proyecto de análisis territorial, que denominamos **Tierra de Barros** por ser en esta comarca donde se centró inicialmente la investigación ya que se trataba de un espacio con características geomorfológicas homogéneas, aunque actualmente el ámbito geográfico se ha ampliado considerablemente por la mitad occidental de la provincia de Badajoz. Este trabajo ha comportado la excavación de espacios de *asentamiento* con una ocupación entre finales del III y comienzos del II milenio cal ANE, como son La Pijotilla (Badajoz) (Hurtado, 1991), San Blas (Cheles, Badajoz) (Hurtado, 2004) y Palacio Quemado (Alange, Badajoz) (Hurtado y Enríquez, 1991), así como *contextos funerarios* en Guadajira (Badajoz) (Hurtado y García, 1994) y las tumbas de La Pijotilla (Hurtado *et al.,* 2002).

1. Proyecto de investigación I+D del Ministerio de Educación y Ciencia, referencia MAT2005-00790 titulado "Tecnología de Materiales de Recursos Abióticos en la Prehistoria Reciente (III-II milenios cal ANE) en el Suroeste de España: Tierra de Barros y Sierra Morena Occidental".

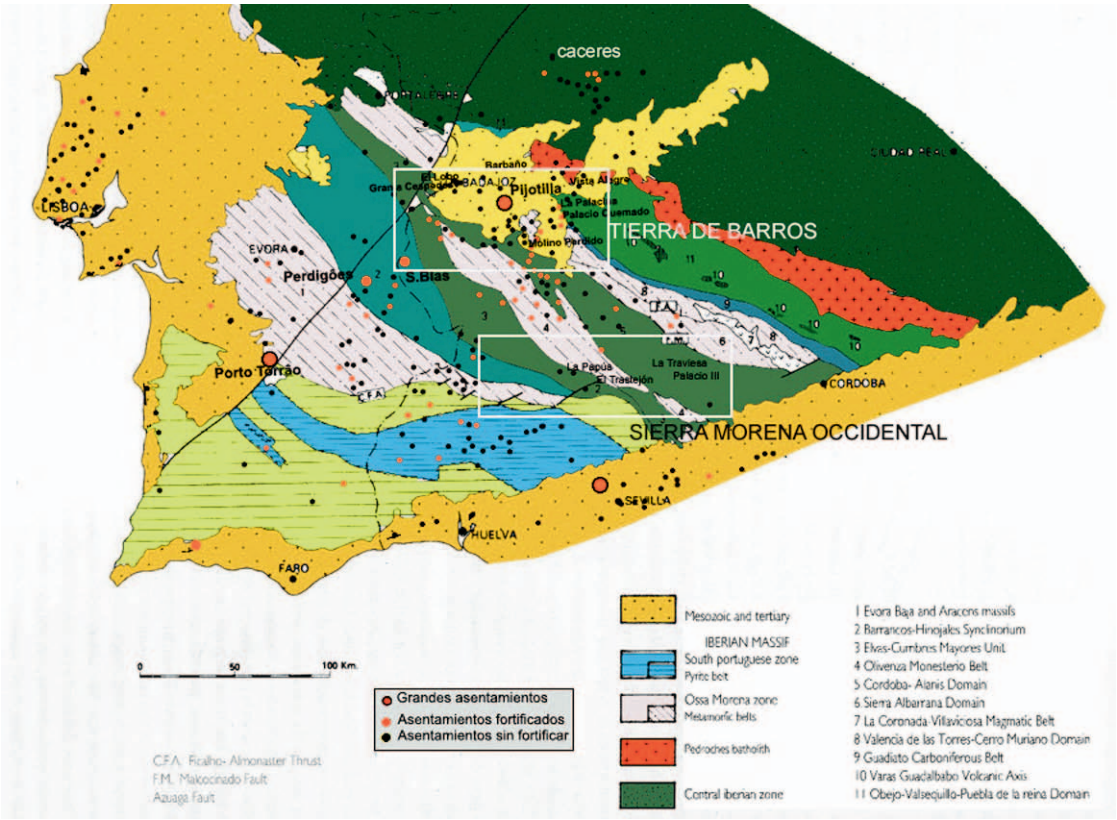


Figura 1. Situación de las áreas de investigación en el Suroeste peninsular con los yacimientos calcolíticos.

Similarmente, en el **sector occidental de Sierra Morena**, al norte de las provincias de Huelva y Sevilla, hemos venido realizando dos proyectos de investigación entre 1988 y 2002, sobre las comunidades de la Edad del Cobre y la Edad del Bronce, que han comportado la excavación de los *asentamientos* de La Papúa, El Trastejón (Zufre, Huelva) y La Traviesa (Almadén de la Plata, Sevilla) (v. resumen en García y Hurtado, 1998), así como de las *necrópolis* de La Traviesa y Dehesa de Palacio (Almadén de la Plata, Sevilla) (García, 1998; García y Wheatley, 2006) y Los Páramos y Las Mesas (Aznalcollar, Sevilla) (Hunt, 2003b).

Entendemos que los ***contextos habitacionales*** constituyen una expresión directa de la infraestructura económica y de la organización social y política de las comunidades que los generaron. La caracterización de materiales de artefactos debidamente contextualizados en unidades estratigráficas y contextos presentes en asentamientos, y sus asociaciones (Fig. 2), permiten interpretar la pautas de aprovechamiento, almacenamiento y consumo de los recursos abióticos entre las comunidades del III y II milenio ANE así como las reglas y principios que presiden su organización sociopolítica (niveles de desigualdad en el acceso a los recursos, jerarquización social, institucionalización del poder, etc.) y su evolución dinámica en el tiempo. Además, la localización y contextualización de los asentamientos en el territorio, en el marco de unos recursos potenciales disponibles, permite analizar las estrategias de ocupación y de explotación de los recursos naturales, es decir una estrategia económica.

Por otra parte, los ***contextos funerarios*** son altamente complementarios con respecto a los habitacionales, posibilitando interpretaciones del papel que los recursos abióticos juegan dentro de los sistemas de creencias, de organización social y de circulación e intercambio de materias primas exóticas y de productos de lujo. Como se ha señalado antes, existen fuertes indicios del diferente papel social e ideológico que los artefactos metálicos de prestigio juegan entre las comunidades de la Edad del Cobre y del

Bronce en el Sur peninsular. El estudio de este problema requiere, ante todo, la caracterización de la composición, tecnología y, en la medida de lo posible, procedencia de las materias primas. Similarmente, hemos identificado indicios de que la tecnología de manipulación y elaboración de las arcillas para recipientes cerámicos puede acompañar la expresión funeraria de la desigualdad entre las comunidades de la Edad del Bronce, donde la individualización del ritual funerario da contexto a una expresión más nítida de las pautas de jerarquización y desigualdad. Finalmente, el uso de rocas nobles, raras y exóticas como el mármol, el cristal de roca, la madera fósil, el coral o determinadas rocas volcánicas ha quedado constatado en el registro funerario que hemos documentado en La Pijotilla, Guadajira, Dehesa de Palacio III y La Traviesa, requiriéndose una caracterización científica de los mismos en su contexto geológico y ambiental, antes de poder proceder a la valoración del significado ritual, ideológico y social que pudieron tener.

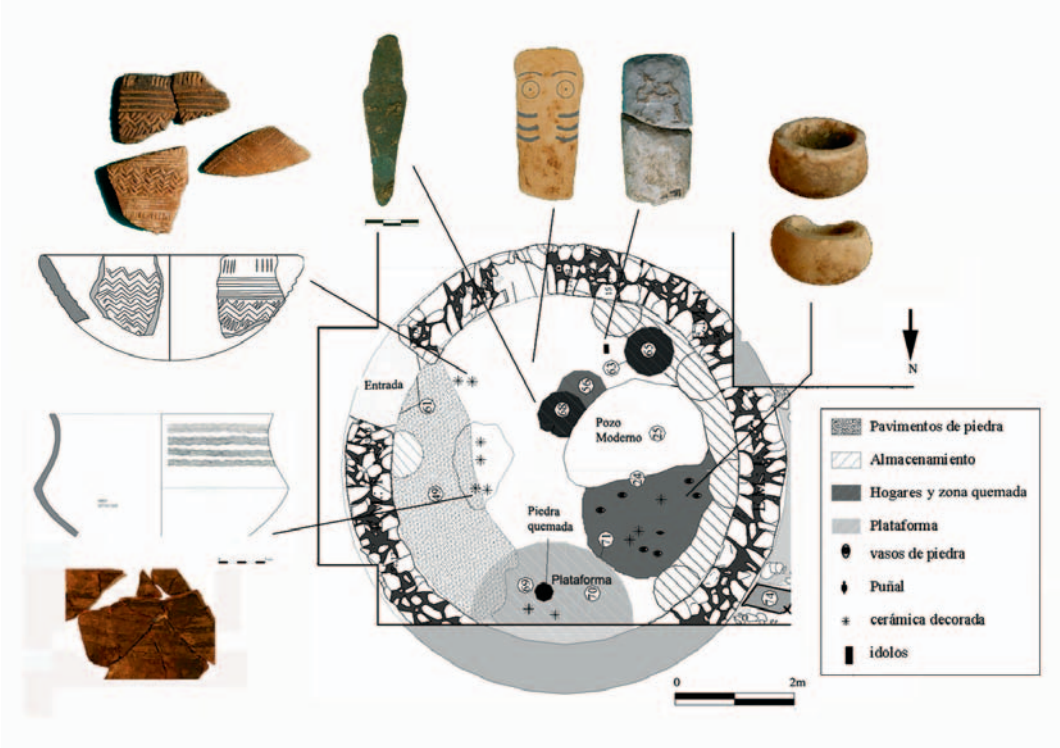


Figura 2. Contexto habitacional. Materiales cerámicos, líticos y metálicos hallados en la cabaña J27 del asentamiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz).

Desde un punto de vista temático, el proyecto se centra en tres tipos de actividades principales, referidas al análisis de artefactos elaborados a partir de arcillas, rocas y rocas metalíferas, empleados tanto en contextos habitacionales como funerarios en los que se procede a su caracterización, procesos de abastecimiento y de fabricación, utilización, distribución e intercambio.

Para ello se seleccionan artefactos contextualizados, se efectúan prospecciones geológicas del entorno, se obtienen muestras de yacimientos de arcilla, rocas y minas y se realizan diversas técnicas de análisis arqueométricas para su caracterización.

El objetivo final es la interpretación conjunta de los resultados obtenidos en el proceso de investigación de los territorios con referencia a espacios de captación, explotación e intercambio de recursos, y su articulación en los procesos de interacción y territorialización (relaciones de jerarquización sociopolítica), así como de significado ideológico y simbólico de piezas cultuales.

ANÁLISIS CERÁMICO

Al comienzo de este proyecto los integrantes del equipo de investigación habían llevado a cabo una base de datos de arqueometría cerámica[2], en principio de análisis procedentes de Andalucía (Cordero *et al.,* 2006), aunque con la posibilidad de ampliarla al resto de la Península Ibérica.

El estudio de la cerámica que se está realizando desde finales de los años 90 en ambas zonas de estudio consiste en el análisis arqueométrico de una buena cantidad de muestras procedentes de yacimientos excavados y de prospecciones con objeto de estudiar las tecnologías del proceso de producción e integrar los resultados en la interpretación de sistemas de intercambio (ámbitos local, regional e interregional), las pautas funcionales y pautas simbólicas de uso habitacional, funerario y cultual (Polvorinos y Gómez, 1998; Polvorinos *et al.,* 2002, 2005).

Paralelamente a la actividad de análisis cerámico se efectúan prospecciones y muestreos de los yacimientos de arcillas en el entorno de los yacimientos arqueológicos seleccionados. Hasta ahora se han tomado muestras de arcillas en distintos puntos de los sedimentos miocénicos en los que se sitúa La Pijotilla. Las arcillas muestreadas y susceptibles de haber sido utilizadas en la elaboración de cerámicas están siendo caracterizadas en su composición mineralógica total, la fracción arcilla, su granulometría total (fracciones arena-limo-arcilla), la granulometría de la fracción menor de 100 micras *(Sedigraph),* y otras propiedades tecnológicas de secado, moldeo y cocción; posteriormente serán sometidas a experimentos de cocción, las transformaciones térmicas se monitorizarán por difracción de rayos-X en un equipo con cámara térmica en los ambientes oxidante o reductor que se requieran y los resultados serán contrastados con los de las cerámicas arqueológicas.

En la Cuenca Media del Guadiana se han analizado ya *c.*500 muestras cerámicas por XRF y XRD, principalmente. Hasta el momento se dispone ya de algunos resultados del análisis de cerámicas con incrustación de pasta blanca halladas en las decoraciones mediante microFRX, XRD y FTIR para poder concretar la naturaleza de ese relleno. Se ha demostrado que se trata de hueso, y se han podido establecer dos protocolos, uno referente a cómo determinar su naturaleza ósea y descartar el posible uso de apatitos geológicos, y otro en lo referente al cálculo de la temperatura de cocción de las cerámicas que contienen esta incrustación, partiendo de la premisa de que la pasta ósea ha sido incrustada con anterioridad a la cocción y que esta pasta fue elaborada con hueso fresco, en base a las transformaciones físico-químicas que sufre la dahalita (hueso) al transformarse a β-trifosfato de calcio durante su calentamiento (Odriozola y Hurtado, 2007).

Se trata del primer caso en la Península Ibérica donde se detecta este fenómeno decorativo, circunscribiéndose por ahora a la Cuenca Media del Guadiana, ya que en otras regiones el relleno de pasta blanca se ha venido considerando tradicionalmente (a veces por un examen visual) que corresponde a carbonato cálcico por lo que quizás sea necesario proceder a nuevos tipos de análisis para confirmar la naturaleza del relleno. Por otro lado el resultado del análisis resulta de gran interés, no sólo en cuanto a la distribución o particularidad que supone su fabricación, sino por las interpretaciones de carácter ritual/social que puedan derivarse en el hecho de incrustar hueso en una cerámica de “prestigio”.

También se ha estudiado la cerámica campaniforme de San Blas y La Pijotilla mediante XRF y XRD para generar grupos composicionales, encontrando que en San Blas existe un único grupo composicional, lo

2. “Base de Datos de Arqueometría cerámicas de Andalucía. Archaeometra” llevada a cabo entre los años 2002 y 2003 y financiado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía dentro del PAI (Plan Andaluz de Investigación). Esta base de datos puede ser consultada en http://www.aloj.us.es/rnm185/

que evidencia una única fuente de materias primas, y una homogeneidad muy marcada dentro de la composición química, mientras que por su parte La Pijotilla presenta dos grupos composicionales asociados a los dos tipos campaniformes (internacional y continental). Ello deja abierta la puerta a interpretaciones acerca de la posible implantación de dos talleres especializados en La Pijotilla que utilizan diferentes "recetas" para realizar las cerámicas. La existencia de estos dos grupos ha sido confirmada a través de las temperaturas de cocción calculadas en base a las incrustaciones de hueso y en trabajos anteriores. La particularidad de haberlos encontrado asociados a tipos cerámicos concretos es muy interesante y actualmente estamos intentando explicarlo en base a los procesos de identidad en la jerarquización social durante la fase campaniforme.

Dentro de este estudio composicional, se ha detectado cómo algunos fragmentos cerámicos aparecidos en San Blas encajan en uno de los grupos composicionales encontrados en La Pijotilla, evidenciando un posible intercambio entre yacimientos, que habrá que seguir investigando con los restantes análisis efectuados a cerámicas campaniformes de otros yacimientos de la CMG (Fig. 3). En el trabajo de investigación realizado por uno de nosotros (C. Odriozola) se ha estudiado otro tipo de decoraciones con la misma metodología y se ha podido comprobar que existe un vínculo bidireccional entre San Blas y La Pijotilla en cuanto a producción y consumo cerámico se refiere. En el caso del estudio petrológico con lámina delgada de los vasos hallados en el interior del dolmen de Palacio III en la Sierra Norte de Sevilla, los análisis revelan diferentes procedencias de las cerámicas por su composición.

Por otra parte se ha realizado un estudio arqueométrico de muestras representativas de crisoles de cerámica escorificada del yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz), caracterizadas desde el punto

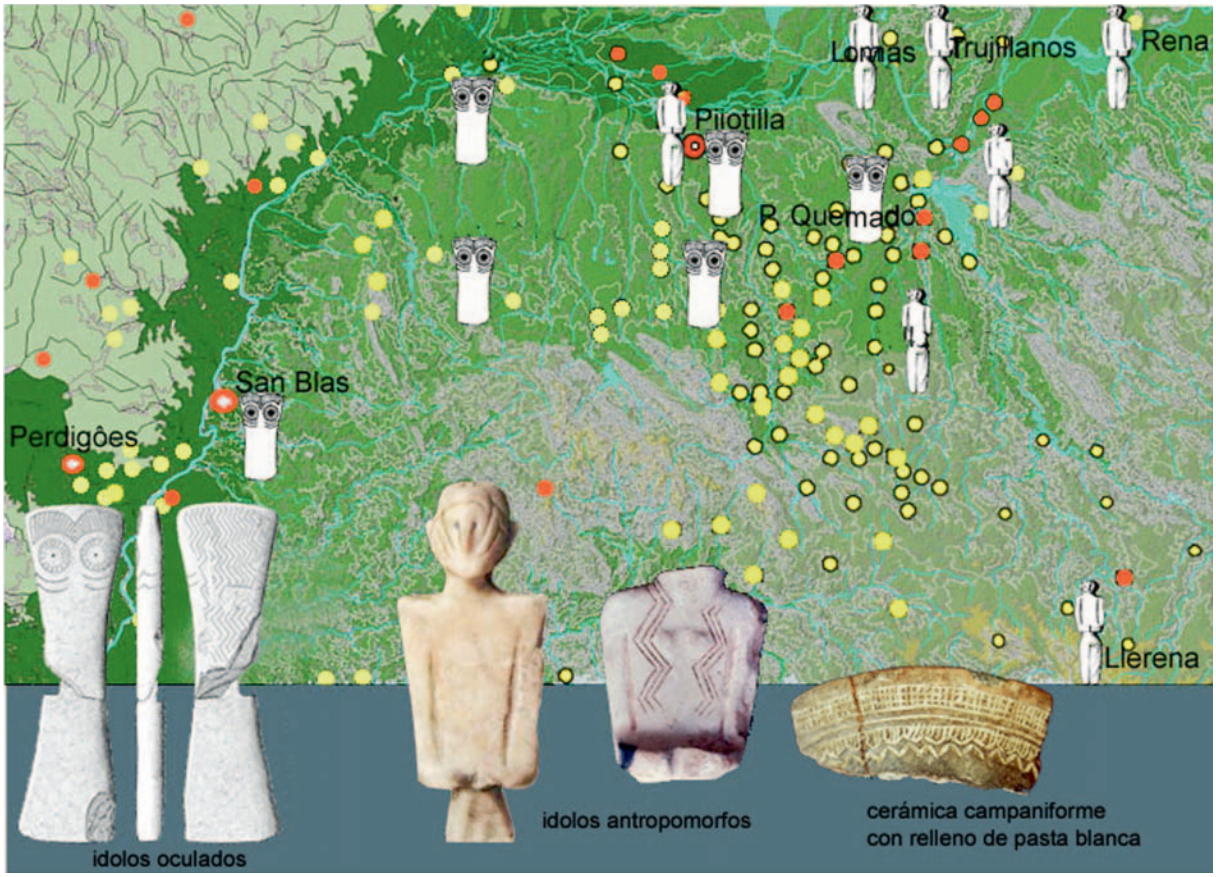


Figura 3. Distribución de ídolos de caliza y campaniforme (puntos rojos) en la Cuenca Media del Guadiana.

de vista mineralógico, químico y textural utilizando diversas técnicas como: petrografía de luz reflejada y transmitida, XRF, XRD y SEM-EDAX. Se ha determinado el grado de especificidad de estas pastas y sus escorificaciones, estableciéndose su relación y proponiéndose su funcionalidad dentro del proceso productivo metalúrgico.

ANÁLISIS METALÚRGICO

Al inicio de este proyecto de había diseñado una base de datos específica para arqueometalurgia estructurada en seis grandes apartados que recogen tanto la información referida a minas como al registro y contexto arqueológico, los resultados analíticos y las referencias bibliográficas y documentación gráfica.

Actualmente, la Base de Datos Arqueometalúrgicos tiene recogidos más de 3.000 registros individuales de resultados arqueométricos de las provincias de Huelva, Cádiz, Córdoba, Sevilla y Badajoz, a pesar que en una primera fase se ha dedicado un gran esfuerzo a la recopilación bibliográfica. La base de datos se está ampliando al Sur de Portugal con objeto de cubrir todo el Suroeste peninsular.

En las actividades de campo y laboratorio referidas al apartado de la metalurgia se están realizando numerosos análisis arqueométricos no sólo de artefactos metálicos sino del proceso de producción metalúrgica procedentes del registro arqueológico (selección, morfología, tecnología de fundición, tratamientos de los metales, etc.), y de las fuentes de aprovisionamiento (Hunt, 2003a; Hunt y Hurtado, 2001). La captación de materias primas a través de estudios geológicos, identificación de menas, y toma de muestras georreferenciadas de los principales depósitos minerales para análisis de isótopos de plomo constituyen uno de los aspectos más novedosos y de interés en esta línea de investigación arqueometalúrgica. Para ello se están realizando prospecciones específicas y tomando muestras procedentes de las áreas mineralizadas del Sur de la provincia de Badajoz y Norte de la provincia de Huelva. La confrontación de los datos isotópicos de las mineralizaciones y del registro arqueológico permite inferir las fuentes de aprovisionamiento de materias primas utilizadas y su dispersión espacial, así como las relaciones tanto en el ámbito de la cadena de producción metálica de los propios yacimientos como respecto a las redes de distribución de los productos finales metálicos.

En este mismo Congreso presentamos una comunicación sobre el estado de la cuestión de las investigaciones acerca de la metalurgia del cobre en el Suroeste peninsular durante el Calcolítico mediante análisis de isótopos de plomo.

En el caso de Tierra de Barros, las primeras prospecciones se han limitado a la obtención de muestras en los depósitos minerales más próximos al yacimiento arqueológico de San Blas (Cheles, Badajoz) y de la zona de Santa Marta que, como primera aproximación, han sido analizados mediante XRF-SEM e Isótopos de Plomo. En relación al análisis efectuado en los asentamientos calcolíticos de San Blas y La Pijotilla (en este último caso sin evidencias de producción de cobre) (Fig. 1) se ha podido establecer la relación isotópica entre las muestras arqueológicas de ambos sitios, que apoyarían la hipótesis según la cual se consideraría a San Blas como un yacimiento productor, que proveería de objetos metálicos a La Pijotilla, mientras que éste actuaría como un lugar central, de redistribución.

Tanto en los laboratorios de la Universidad de Sevilla (CITIUS, CNA), como en colaboración con el CSIC, el MAN y la Universidad del País Vasco (isótopos de plomo), se han llevado a cabo análisis de distinto tipo para la caracterización tanto del registro arqueológico como, en menor medida, de los depósitos minerales del área geográfica de estudio. En cuanto a los resultados analíticos ya obtenidos, las muestras que se han seleccionado pertenecen al registro arqueológico de diversos yacimientos del área geográfica de estudio, datados en época Calcolítica y la Edad de Bronce:

- Yacimiento San Blas (Cheles-Badajoz): XRF, SEM, Isótopos de Plomo.
- Yacimiento Granja Céspedes (Badajoz): XRF.
- Yacimiento de La Pijotilla (Badajoz) XRF, PIXE, Isótopos de Plomo, Radiocarbono (AMS).
- Yacimiento Los Páramos (Aznalcóllar, Sevilla): XRF, PIXE, Radiocarbono (AMS).
- Dolmen de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla): XRF.

ANÁLISIS DE MATERIAL LÍTICO

Hasta ahora el primer paso en las investigaciones ha consistido en recopilar la bibliografía relativa a investigaciones geológicas y mineras de los territorios objeto de estudio y se ha comenzado a evaluar las características geológicas de las dos áreas geográficas mediante mapas específicos.

Para la consecución de los objetivos del proyecto, acerca de la determinación de las fuentes de aprovisionamiento de materias primas, se procede en primer lugar a la caracterización de los artefactos lítico hallados en yacimientos arqueológicos bien contextualizados, a la que sigue un estudio geológico del territorio para localizar los lugares de donde han sido extraidos. En muchos casos los materiales en los que están fabricados los artefactos líticos son comunes en la zona y resulta difícil precisar el punto de abastecimiento, pero en otros casos se trata de tipos de rocas muy específicas, a veces alejadas del lugar donde fueron halladas y que por su rareza se puede llegar a precisar mejor su procedencia, pudiendo con ello profundizar en los estudios sobre sistemas de intercambio y comercio.

En el territorio de Tierra de Barros se han obtenido muestras contextualizadas del yacimiento de La Pijotilla (Badajoz) y las procedentes de superficie recogidas en la colección Domínguez que se encuentran actualmente en el Museo Arqueológico de Badajoz. En este Museo se ha efectuado una primera valoración del conjunto de ídolos fabricados en calizas, objetos de adornos y variedad de útiles líticos procedentes de este yacimiento calcolítico. En esta zona llama la atención el gran número y variedad de tipos de ídolos en caliza y mármol respecto a los existentes en la Península Ibérica. En La Pijotilla es donde se localiza la mayor cantidad, pero en otros yacimientos del territorio han aparecido otros ídolos oculados y antropomorfos también de caliza que, en el caso de los primeros, indican que se trata de una particular distribución en la que posiblemente La Pijotilla ejerciera un importante papel (Fig. 3).

El muestreo y caracterización general ha permitido constatar que especialmente en La Pijotilla existe una gran diversidad de materiales líticos (Vallespí *et al.,* 1985) y que muchos de ellos indican que las fuentes de aprovisionamiento se encuentran muy alejadas de este asentamiento, por lo que se está procediendo a evaluar las posibles zonas geológicas de procedencia a partir de la cartografía geológica para posteriormente efectuar prospecciones en áreas concretas y obtener muestras para análisis.

A este respecto se está ensayando el análisis sobre el terreno con un equipo portátil de espectrometría de reflectancia difusa visible-infrarrojo próximo (400-2500nm), que permitirá agilizar y aumentar considerablemente el número de muestras analizadas. Su aplicación como técnica de análisis no destructiva se está ensayando en artefactos líticos, como las láminas de sílex procedentes de la Tumba 3 de La Pijotilla (Hurtado et al. 2002, Polvorinos et al 2002) cuyo estudio se presenta en este mismo Congreso. Dada la variabilidad petrográfica y geoquímica de los sílex dentro de una misma área fuente, incluso dentro de un mismo estrato o cantera, el estudio petrográfico se completa con el análisis mineralógico por DRX y análisis geoquímico por FRX, SEM-EDAX.

En otros yacimientos arqueológicos excavados, como el de San Blas (Cheles, Badajoz) se ha realizado un análisis “de visu” y con lupa binocular del conjunto de artefactos líticos pudiendo determinar que en su mayoría están fabricados a partir de rocas locales.

En el territorio sevillano de Sierra Morena se han realizado dos estudios sobre material lítico. El primero es un análisis del conjunto de objetos votivos de cuarzo tales como monocristales (variedades cristal de roca y prasio) y cantos rodados encontrados en dos contextos arqueológicos distintos del complejo megalítico de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla) (García Sanjuan y Wheatley, 2006), cuyos resultados se exponen también en este Congreso. El segundo es el análisis de los soportes rocosos sobre los que aparecen grabadas las estelas del Bronce Final halladas en el entorno de Almadén de la Plata (García Sanjuan *et al.,* 2006).

EVALUACIÓN TERRITORIAL

Desde un punto de vista teórico-metodológico, el marco de análisis en esta actividad del Proyecto es el *Análisis de Captación de Recursos,* que persigue la reconstrucción arqueológica de las pautas de explotación que una comunidad humana dada (su tecnología, población, organización socioeconómica) hace de su nicho ecológico (la naturaleza y sus recursos) y de los sistemas de aprovisionamientos de recursos no disponibles en su entorno.

En relación con los métodos y técnicas analíticas a emplear en la evaluación del territorio, la base tecnológica la constituyen los *Sistemas de Información Geográfica* a través de la elaboración de cartografía digital y análisis SIG de resultados.

Para la evaluación territorial y teniendo en cuenta los resultados arqueométricos obtenidos se atenderá en una última fase del proyecto al análisis de la distribución territorial de los recursos abióticos en relación con las comunidades estudiadas, al análisis de la distribución geográfica de los asentamientos y al análisis de los patrones en los módulos de análisis territorial designados (cuenca media del Guadiana y Sierra Morena occidental).

A partir de la información conjunta obtenida mediante la arqueometría y la evolución territorial se propondrá una interpretación de los territorios con referencia a espacios de captación, explotación e intercambio de recursos, y su articulación en los procesos de interacción y territorialización (relaciones de jerarquización sociopolítica), así como atender al significado ideológico y simbólico de determinadas piezas cultuales.

BIBLIOGRAFÍA

CORDERO, T.; GARCÍA, L.; HURTADO, V.; MARTÍN, J.M.; POLVORINOS, A. y TAYLOR, R. 2006: “La Arqueometría de Materiales Cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza”. *Trabajos de Prehistoria* 63 (1): 9-35.

GARCÍA SANJUAN, L. (ed) 1998: *La Traviesa. Ritual Funerario y Jerarquización Social en una Comunidad de la Edad del Bronce de Sierra Morena Occidental.* Spal Monografías 1. Sevilla. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

GARCÍA, L. y HURTADO, V. 1998: "La dinámica de poblamiento en la Estribación Occidental de Sierra Morena durante el II milenio a.n.e." En L. García (ed): *La Traviesa. Ritual funerario y jerarquización social en una comunidad del Bronce de Sierra Morena occidental.* Spal Monografias 1. Universidad de Sevilla y Ayto. Almadén de la Plata: 35-101

GARCÍA SANJUAN, L. y WHEATLEY, D. 2006: “Recent investigations of the megalithic landscapes of Sevilla province, Andalusía: Dolmen de Palacio III”. En Joussaume, R.; Laporte, L. y Scarre, C. (eds.): *Origin and Development of the Megalithic Phenomenon of Western Europe. Proceedings of the International Symposium (Bougon, France, October 26th-30th 2002:* 473-484. Bougon. Conseil Général de Deux Sèvres.

GARCÍA, L.; WHEATLEY, D.W.; FÁBREGA, P.; HERNÁNDEZ, M.J. y POLVORINOS, A. 2006: “Las estelas de guerrero de Almadén de la Plata (Sevilla). Morfología, tecnología y contexto” *Trabajos de Prehistoria* 63 (2):135-152.

HUNT ORTIZ, M.A. 2002 “Isótopos de plomo aplicados al registro arqueológico prehistórico y protohistórico: El caso del depósito de armas de la Ría de Huelva”. *Actas del Primer Simposio Sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el Sudoeste Europeo.* Universidad Politécnica de Cataluña. Centre d’Arqueologia d’Avinganya, Serós (Segrià), Lleida.

HUNT ORTIZ, M.A. 2003a: Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula”. *BAR Int.Series* 1188. Oxford.

HUNT ORTIZ, M.A. 2003b: “La zone minière d’Aznalcóllar (Sevilla)”. En: A. Orejas (Ed.) *Atlas Historique des Zones Minières d’Europe, II.* Action COST G2, International Organization. European Commision. Bruselas (Bélgica).

HUNT, M. y HURTADO, V. 2001: “Análisis arqueometalúrgico del yacimiento calcolítico de La Pijotilla (Badajoz) En B. Gomez; M.A. Respaldiza y M L. Pardo (eds): *III Congreso Nacional de Arqueometría.* Univ. de Sevilla y Fundación El Monte. Sevilla: 467-476.

HURTADO, V. 1991: “Informe de las excavaciones de urgencia en La Pijotilla (Badajoz). Extremadura *Arqueológica II*: 45-68

HURTADO, V. 2004: "El asentamiento fortificado de San Blas (Cheles, Badajoz). III milenio AC.” *Trabajos de Prehistoria* 61 (1):141-155.

HURTADO, V. y ENRIQUEZ, J.J. 1991: “Excavaciones en Palacio Quemado (Alange, Badajoz). Informe preliminar” *Extremadura Arqueológica II*: 69-88.

HURTADO, V. y GARCIA, L. 1994: “La necrópolis de Guadajira (Badajoz) y la transición a la Edad del Bronce en la Cuenca Media del Guadiana” *Spal* 3: 95-145.

HURTADO, V.; MONDÉJAR, P. y PECERO, J.C. 2002: "Excavaciones en la Tumba 3 de La Pijotilla" *Extremadura Arqueológica VIII.* Homenaje a Elías Dieguez Luengo. Junta de Extremadura. Mérida: 249-266.

ODRIOZOLA LLORET, C. y HURTADO PÉREZ, V. 2007: "The manufacturing process of 3rd millennium BC bone based incrusted pottery decoration from the Middle Guadiana River Basin (Badajoz, Spain)” *Journal of Archaeological Science* 34: 1794-1803.

POLVORINOS, A.; HERNÁNDEZ, M.J.; HURTADO, V. y ALMARZA, J. 2002: “Caracterización Mineralógica del Ajuar del Enterramiento Calcolítico (Tumba 3) de la Pijotilla (Badajoz)”. *IV Congreso Nacional de Arqueometría.* Valencia. Unidad de Arqueometría ICMUV: 315-321. Volumen: CDRom.

POLVORINOS, A.; GARCIA, L.; HURTADO, V. y HERNANDEZ, M.J. 2005: “Bronze Age Ceramics in Soutwest Spain: An exploratory Archaeometric Study of Technology and Function". *Geoarchaeology: An International Journal* 20 (3): 263-284.

POLVORINOS DEL RÍO, A.J. y GÓMEZ MORÓN, M.A. 1998: “Estudio arqueométrico de cerámicas calcolíticas del yacimiento de La Pijotilla (Badajoz, España).” *Proceedings of the IV th European Meeting on Ancient Ceramics.* Andorra: 159-168.

VALLESPI, E.; HURTADO, V. y CALDERON, T. 1985: “La industria lítica tallada de superficie de la Pijotilla (Badajoz)” *Series de Arqueología extremeña* 1: 11-65. Cáceres.

DESDE LA OTRA ORILLA: PRESENCIA DE LA ARQUEOMETRÍA EN LATINOAMÉRICA Y SU RELACIÓN CON ESPAÑA

FROM THE OPPOSITE COAST: REPRESENTATION OF ARCHAEOMETRY IN LATIN AMERICA AND ITS LINKS WITH SPAIN

AIXA SOLANGE VIDAL

Universidad Complutense de Madrid/ Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (Argentina)
aixavidal@gmail.com

RESUMEN

Presentamos en este trabajo una síntesis bibliométrica de la evolución de la Arqueometría dentro de los estudios más amplios que encara la arqueología en la actualidad. En particular, se revisaron no sólo cuestiones metodológicas como el tipo de técnicas empleadas y su cantidad, sino también cuestiones ontológicas derivadas de la mayor variabilidad de puntos de vista en los estudios de las sociedades humanas pretéritas, observados en nuestro caso en la ampliación de materiales estudiados y la diversidad de objetivos de estudios para los cuales los métodos arqueométricos serían de interés. Con una perspectiva comparativa, se consideraron los artículos aparecidos durante la última década en *Archaeometry* y se vincularon con los de publicaciones americanas, argentinas y madrileñas para ampliar el cuadro de situación de esta disciplina.

ABSTRACT

This paper presents a bibliometric analysis of the changing position of Archaeometry in current archaeological studies. Methodological questions were particularly revised such as the nature and number of the techniques used. Moreover, ontological questions originated in the wider variability of theoretical interpretations of past societies are shown through the increase in the materials analysed and the diversity of research aims adopting archaeometric methods. Articles published in Archaeometry during the last decade are comparatively revised against American, Argentinian and Madrilenian journals.

Palabras clave: estudio bibliométrico, metodología, teoría, variabilidad, América, Madrid.

Key words: *bibliometric analysis, methodology, theory, variability, America, Madrid.*

INTRODUCCIÓN

Si bien su inclusión en los trabajos arqueológicos —al menos en el plano teórico— data de más de dos décadas, la arqueometría, en particular en los países latinoamericanos, era hasta hace poco apenas un pequeño apartado donde se incluían tablas de valores cuantitativos facilitados por los laboratorios de física, química o mecánica, integrado con mayor o menor acierto a la discusión de ciertos aspectos de la vida de las sociedades pretéritas. El campo de aplicación estaba bastante limitado, apenas sobrepasando los límites de la identificación de materias primas y fuentes de origen, dependiendo en gran medida de los ensayos e interpretaciones facilitados por los geólogos o químicos que trabajaban asociados a los equipos arqueológicos.

De hecho, los trabajos de cariz arqueométrico publicados hasta la década de 1990 son casi sin excepción análisis de laboratorios estadounidenses realizados en pastas cerámicas —con algunos experimentos en el tema de las temperaturas de cocción— y elementos traza de materias primas líticas, un tema un tanto más difundido en Latinoamérica por el temprano interés en las fuentes de obsidiana (Vidal, 2006). De igual manera, las problemáticas sociales que permitían tratar los resultados obtenidos, en muchos casos poco relevantes debido a la carencia de valores de referencia, se veían forzosamente circunscritos a las fuentes de materia prima y la etapa de obtención de la misma dentro del marco organizativo de la manufactura de instrumentos.

Poco a poco se abre el rango de posibilidades: por un lado, se amplían los tipos de análisis que se consideran aplicables al registro arqueológico, ya que un cambio profundo en la visión del mismo nos permite considerar a los objetos no sólo en su carácter de diferentes por pertenecer a culturas ya extintas, sino que también se reconoce que dichos artefactos comparten con sus homólogos actuales propiedades innatas a su naturaleza. Este cambio ontológico propició sin lugar a dudas la proliferación de estudios provenientes de las ciencias de los materiales en los objetos arqueológicos.

Por otro lado, se comenzó a reflexionar sobre el papel del analista en la interpretación de los resultados, haciendo hincapié en la necesidad no sólo de la interdisciplinariedad abogada por la ciencia en la actualidad sino también en la ineludible participación del arqueólogo en el proceso de ensayo. No es suficiente remitir muestras al laboratorio y esperar los resultados. El propio investigador comienza a formar parte del análisis técnico para prevenir dificultades, sugerir modificaciones y, así, lograr una comprensión más profunda de los objetos que representan a la sociedad bajo análisis.

Estos factores, junto con el avance técnico-científico que puso a disposición del mundo académico una importante parafernalia de equipos y ensayos, redundó en incomparables beneficios para la interpretación arqueológica: el abanico de posibilidades se abrió enormemente y, en la actualidad, son pocos los eventos culturales en los que la arqueometría no tiene participación. Prueba de ello son las numerosas publicaciones que la incluyen, al igual que la celebración de congresos y simposios específicos, tanto en los niveles nacionales como en los internacionales, como los celebrados en este año en Buenos Aires y en Madrid.

Con el fin de aportar materia de reflexión sobre esta apertura teórica y metodológica, presentamos aquí un estudio comparativo basado en los artículos aparecidos en el período 1995-2005 en tres publicaciones de amplia difusión: *Archaeometry, American Antiquity* y *Latin American Antiquity.* Rescatamos de ellas los artículos que aplican la arqueometría de manera exclusiva o preferencial. Para ejemplificar estas tendencias se recorrerán, además, artículos aparecidos en publicaciones especializadas en arqueología de Argentina y de Madrid.

Si bien el panorama que presenta nuestro vaciado bibliográfico muestra una tendencia favorable hacia una más amplia interpretación del registro, todavía es necesaria mucha reflexión para integrar los datos

en crudo a las interpretaciones sociales, con el objetivo de que no sean una mera recopilación de valores y tablas estadísticas, y podamos pasar a discutir en pleno la participación de los materiales ahora arqueológicos en la vida de las sociedades pretéritas.

MUESTRA DE ESTUDIO

Para esta propuesta hemos dividido las publicaciones en dos grupos. Por un lado, se estableció un parámetro general de los cambios acaecidos en distintos aspectos de los estudios arqueométricos en artefactos arqueológicos: tipo de material analizado, tipo de estudios aplicados, cantidad de estudios y, fundamentalmente, objetivos generales de la investigación llevada a cabo. Para ello se consideró la totalidad de los artículos aparecidos en *Archeometry* en la última década, sin discriminación alguna.

En base a los resultados de este recuento, se analizaron los otros casos: el continente americano, representado por *American Antiquity* y *Latin American Antiquity,* para un panorama general y luego los estudios particulares de sólo aquellos artículos publicados en una selección de revistas tanto argentinas como madrileñas que revistieran prioritariamente un carácter arqueométrico. Para Madrid se utilizó el siguiente *corpus* seleccionado por disponibilidad bibliográfica: *Archivo Español de Arqueología; Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología; Boletín del Museo Arqueológico Nacional; Complutum; Cuadernos de la Universidad Autónoma de Madrid; Espacio, Tiempo y Forma; Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileña* y *Trabajos de Prehistoria.* Para el caso argentino no sólo se revisó una serie de publicaciones periódicas, sino que además se incluyeron las actas de los dos congresos de arqueometría celebrados allí. Así, los títulos considerados fueron las *Actas del I Congreso Argentino de Arqueometría; Actas del II Congreso Argentino y I Latinoamericano de Arqueometría; Anales de Cuyo; Arqueología; Comechingonia y Comechingonia Virtual; Cuadernos del INAPL; Intersecciones; La Zaranda; Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* y *Runa.*

MATERIAL ANALIZADO

Archaeometry

Esta publicación (Fig. 1.1) incluye artículos que tratan una gran variedad de materiales, con una alta dominancia de estudios sobre cerámica y metal, que en la actualidad cubren diversos aspectos de las tecnologías asociadas, en particular el análisis de hornos y pigmentos.

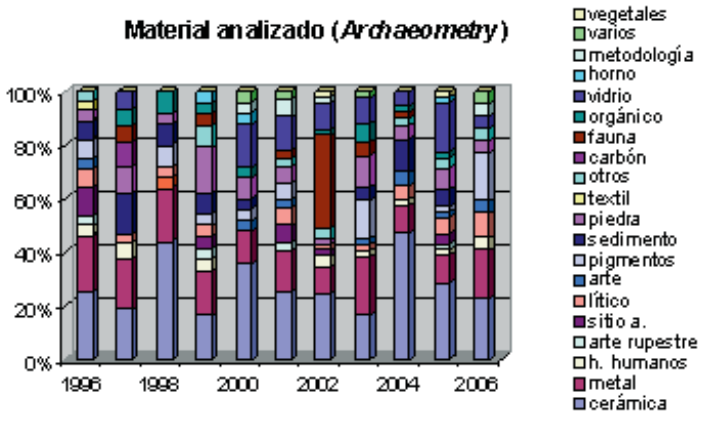


Figura 1.1. Comparación de los materiales analizados en *Archaeometry.*

El estudio de los restos humanos, al igual que el del material lítico, también son habituales, si bien en menor número. Son de notar también los estudios sobre construcciones de piedra y, en los últimos años, el vidrio. Los materiales orgánicos están siempre presentes, no sólo limitados a las dataciones sino incluidos en estudios sobre el uso de la cerámica, del instrumental lítico, o cuestiones de dieta y subsistencia, etc. La fauna aparece escasamente, sólo notable en el número especial sobre tafonomía del año 2002, que da inicio a estos estudios en la revista. Las síntesis y revisiones metodológicas sólo aparecen en los últimos años, al igual que las nuevas propuestas para el estudio de viejos materiales (uso de resinas y presencia de lípidos en cerámicas y líticos).

Asimismo, hay una importante ampliación del tipo de materiales estudiados, en particular aquellos de épocas modernas y contemporáneas.

American y Latin American Antiquity

En el caso de los estudios publicados en *American Antiquity* (Fig. 1.2) y su homóloga latinoamericana, son escasos los estudios de materiales metálicos, lo cual es paradójico comparado con el panorama general y el caso particular en Argentina, donde el interés por los estudios sobre metales es muy temprano, si bien en gran parte de los casos se limitan a aspectos técnicos. La cerámica es el material predominante, casi sin variación a lo largo de la década analizada, aunque cabe recordar que debido a la escasez de publicaciones con énfasis arqueométrico, las proporciones de materiales aparecen polarizadas en escasos artefactos.

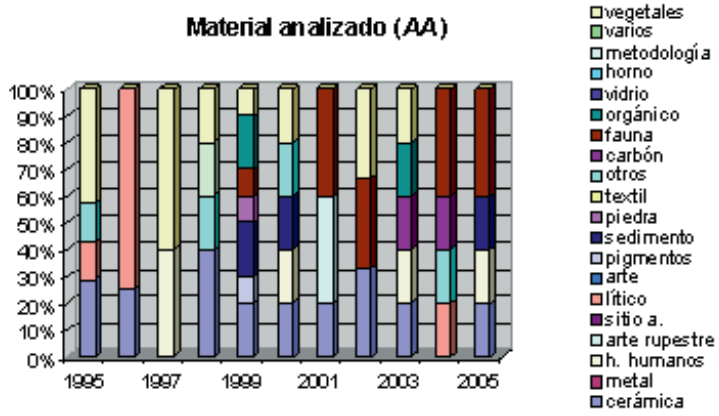


Figura 1.2. Comparación de los materiales analizados en *American Antiquity/Latin American Antiquity.*

Durante el primer lustro considerado, los estudios se limitan a los materiales tradicionales: cerámica, restos vegetales, restos humanos y material lítico (este último a través de estudios de procedencia y de datación de obsidiana). La fauna empieza a cobrar importancia a partir de este siglo, tanto en huesos como en tejidos blandos. Asimismo, en las publicaciones más recientes se diversifica el centro de interés hacia otros materiales como los sedimentos para los estudios paleoambientales, las resinas y otros productos orgánicos.

Los estudios metodológicos vinculados a la aplicación de las ciencias duras son escasos pero se repiten periódicamente. Por último, cabe destacar la ausencia de algunos materiales bien representado en los estudios publicados en *Archaeometry* como el vidrio, las pinturas murales o las de caballete, si bien ello no es de extrañar si consideramos que en líneas generales sólo aparecen trabajos vinculados a temáticas de la prehistoria americana.

Publicaciones argentinas

El caso argentino (Fig. 1.3) se encuadra bastante bien dentro de esta perspectiva general, aunque con un énfasis muy fuerte en escasos materiales que o bien constituyen clásicos dentro de la historia de los estudios del país debido a la participación —a veces exclusiva— de ingenieros, o son materiales de reciente interés como los de arqueología histórica que, al incorporarse hace poco tiempo al *corpus* de la disciplina encontraron una amplia variedad de estudios y metodologías disponibles (Vidal, 2007).

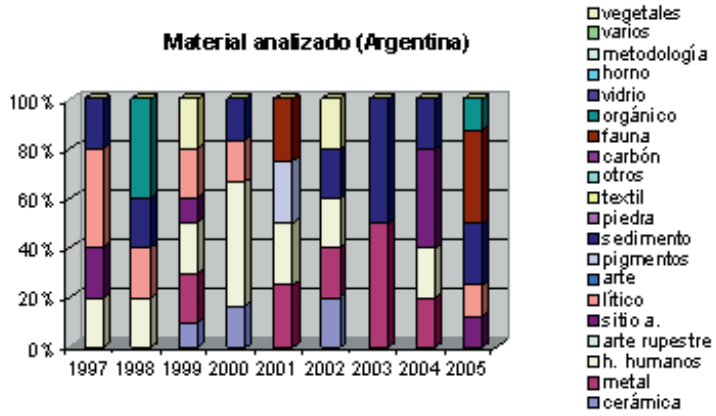


Figura 1.3. Comparación de los materiales analizados en publicaciones argentinas.

Como decíamos, la presencia de unos pocos acuerdos interinstitucionales repercute fuertemente en los resultados. Los estudios sobre cerámica y metal son los beneficiados, con colaboración de diferentes profesionales y gran diversidad de posibilidades de aplicación, que en muchos casos se limitan a meras descripciones y algunas extrapolaciones sociales. Sólo muy recientemente, y a raíz de la organización de los congresos nacionales de arqueometría, se hizo realidad la creación de un par de laboratorios de arqueometría dependientes directamente de las casas de estudios dedicadas a la arqueología, superando la ya lamentablemente tradicional escasez de medios para infraestructura con que cuentan los equipos de trabajo arqueológicos.

La presencia del vidrio es muy notoria en los últimos años, debido a la importancia que está cobrando la arqueología de tiempos históricos. En lo relativo a este material, al igual que a los metales ferrosos, se está trabajando conjuntamente con grupos de etnohistoria para complementar los diferentes registros disponibles.

Los estudios sobre material lítico y los restos óseos humanos son constantes y, en el caso del último, muy variados, pero van perdiendo predominancia frente a los nuevos materiales. Lo mismo sucede con los restos orgánicos, que apenas aparecen para estudios de paleoambiente además de las consabidas dataciones.

Publicaciones madrileñas

El panorama expuesto por las revistas madrileñas de arqueología revisadas (Fig. 1.4) es muy diferente, exceptuando la importancia de los estudios sobre metal (ver una revisión más detallada sobre el tema en Montero *et al.,* 2007). Aquí, los estudios realizados sobre la fauna son especialmente notorios, al igual que los de cerámica y aquellos que se aplican a la vez a varios tipos de materiales.

A escala macro, se evidencia un gran interés por los estudios territoriales, centrados en los yacimientos, tanto en el aspecto de su localización mediante diferentes técnicas de prospección como en el estudio posterior de su registro e integración territorial.

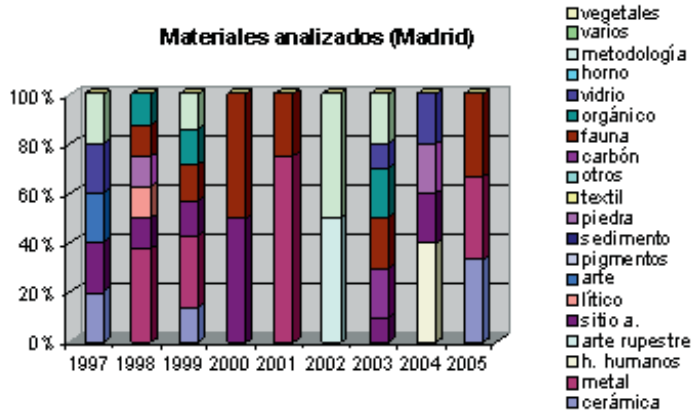


Figura 1.4. Comparación de los materiales analizados en publicaciones madrileñas.

Los estudios sobre vidrio, carbones y otros materiales orgánicos aparecen esporádicamente, sin llegar a ser numerosos en ningún momento. La presencia de estudios sobre diferentes piedras utilizadas como material de construcción, al igual que la de arte rupestre, es meramente anecdótica.

OBJETIVOS DE ESTUDIO

Definimos como objetivos de estudio los objetivos últimos planteados por los autores de los diferentes artículos, que no se limitan al análisis arqueométrico en sí mismo, sino a la investigación en general. Si bien todos implican una caracterización inicial de los artefactos, sitios o materiales, ya sea en su aspecto visual, físico, químico, mecánico, etc., en la mayoría de los trabajos se plantea un objetivo más amplio, interrelacionando los datos obtenidos con las prácticas sociales vinculadas. Este supuesto, que sería el ideal dentro de la visión actual de la arqueometría —y de la arqueología en general— aún dista de ser general, y muchos trabajos siguen estando limitados en su aspecto social, pese a tener un importante valor analítico. En el caso de los estudios aplicados a materiales americanos (al igual que los africanos, que no son precisamente abundantes en los estudios arqueométricos) hay por lo general un mayor interés por la sociedad productora/usuaria, llegando incluso a complementarlos con estudios etnoarqueológicos.

Archaeometry

Se incluye aquí (Fig. 2.1) una gran cantidad de temáticas tratadas con distinto grado de profundidad, tanto en lo que respecta a materiales como a regiones y períodos considerados. Los tradicionales estudios de

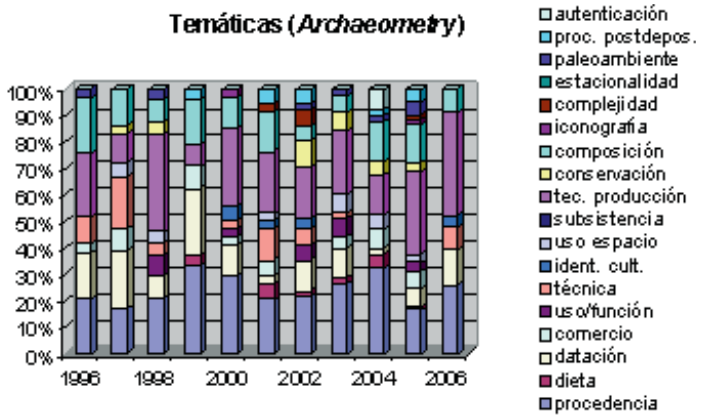


Figura 2.1. Comparación de las temáticas en *Archaeometry.*

procedencia siguen presentes, ampliándose el rango de técnicas y enfoques utilizados. La tecnología de producción es un tema ineludible que en la mayoría de los casos se interesa por la complejidad del proceso de producción, la selección de materiales y técnicas, y el desarrollo de tecnologías auxiliares, excepto en lo que se ha denominado "análisis composicionales", donde las conclusiones se limitan a la mera descripción de elementos. Los artículos sobre la función/el uso de los artefactos no son numerosos pero sí constantes, aplicados a diferentes materiales y períodos, aunque aún son escasos los trabajos donde se pasa a un segundo nivel y se aplican estos datos al estudio de las relaciones de producción, las interrelaciones entre los productores o la vinculación de estos materiales con otros artefactos.

Los escasos artículos que encaran la esfera social de los artefactos incluyen la iconografía y otras formas de identidad cultural, junto a diferentes registros (basados en la dieta, en las características materiales de los ajuares, etc.) que podrían sugerir diferentes niveles de complejidad social.

La datación es una constante en todas las publicaciones, y su representación en el total de los artículos apenas ha disminuido a lo largo del tiempo, si bien el perfeccionamiento de las analíticas permitió el estudio de nuevos materiales como las pequeñas muestras de pigmentos, cerámicas, etc.

El tema del comercio e intercambio, íntimamente vinculado a los estudios de procedencia, es constante y en la actualidad abarca regiones que hace algunos años eran marginales dentro de los estudios arqueométricos, como el continente africano y las islas del Pacífico sur.

Existe en los estudios de origen europeo un renovado interés en los análisis vinculados con la conservación y autenticación de piezas arqueológicas y artísticas, una preocupación prácticamente nula en las publicaciones americanas, aunque comparte con ellas el interés en las alteraciones postdepositacionales, que en cierta medida, estarían vinculadas. Este interés en las colecciones se debe en parte a la participación de grandes museos en la actividad arqueométrica europea, como en el caso del British Museum o las instituciones italianas.

Tenemos, además, artículos cuyos objetivos están identificados como "técnica": se refieren a los de cariz metodológico, donde se ponen a prueba nuevos métodos o diferentes aplicaciones de estudios ya probados en otros materiales o temáticas.

En una escala espacial mayor, aparecen escasa pero constantemente estudios regionales ya sea para la identificación de sitios arqueológicos (domésticos, de enterramiento, de extracción de materias primas) o para estudios de uso del espacio o paleoambientales.

Asimismo, podríamos incluir los de subsistencia interesados en la problemática del desarrollo agrícola. Tras el auge de los estudios espaciales a principios de este siglo, disminuye notablemente su importancia en los últimos años.

American y Latin American Antiquity

Exceptuando las cuestiones vinculadas con la autentificación y conservación, las temáticas presentadas en estas publicaciones (Fig. 2.2) son similares, con un cambio, empero, en el énfasis que presentan.

Los análisis de procedencia no son los absolutamente dominantes en estas publicaciones y están casi sin excepción vinculados al estudio del intercambio. Ello no quiere decir que se deje a un lado la identificación y caracterización de las fuentes de origen de las materias primas utilizadas para la confección de los distintos tipos de artefactos: muy por el contrario, en estas revistas se abarca la temática de las fuentes, pero siempre como un paso previo para la discusión de posibilidades de redes comerciales o, incluso, el

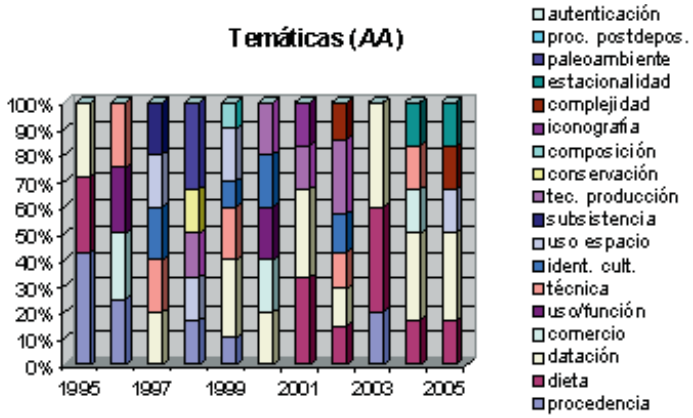


Figura 2.2. Comparación de las temáticas en *American Antiquity/Latin American Antiquity.*

uso social de la cultura material. Así, los estudios de procedencia abarcan básicamente estudios de caracterización cerámica y de elementos traza de obsidianas, aunque también hay algún artículo aislado sobre la procedencia de restos vegetales.

El auge de los estudios sobre la tecnología de producción de los diferentes artefactos se da en torno al año 2000, al igual que los encaminados a la diferenciación de uso/función de los objetos, básicamente a través de los residuos encontrados en ellos. A partir del año 2001, la dieta cobra un renovado interés, vinculada en gran medida a la introducción de las prácticas agroganaderas. Asociado a estos trabajos, están los que se focalizan en el uso del espacio y la explotación de los recursos. Los estudios de paleoambiente son escasos en los últimos años, pero avanzan los de uso del espacio, con temáticas tan diferentes como poblamiento del continente americano o expansión de la frontera agrícola y agotamiento del ambiente. Directamente asociado con ello y con la complejización de los estudios de restos vegetales, en la actualidad se centra el interés en la estacionalidad en el uso de los sitios.

Las dataciones son habituales en casi todas las publicaciones y abarcan desde las técnicas simples de C14 hasta los métodos más recientes de datación óptica digitalizada, un nuevo método que mediante la aplicación de *software* de procesamiento de capas cromáticas de imágenes permite la identificación de superposiciones gráficas y, con ello, una datación relativa del arte rupestre (ver una aplicación práctica en Ferraro, 2007).

En los últimos años se retoma la cuestión de la complejidad social, sumada a la búsqueda de marcas de identidad cultural que constituye una temática ya tradicional durante la última década en estas publicaciones, con escasos estudios de iconografía, subsistencia, complejidad social y técnicas de producción, integrados, en general, en análisis de diversidad de materiales.

Los trabajos relacionados con cuestiones metodológicas también están presentes de forma regular a lo largo de la década observada, pero son apenas notorios.

Publicaciones argentinas

En Argentina (Fig. 2.3), la cadena operativa es un tema constante en los objetivos de investigación. Se consideran las diferentes etapas, al igual que los grados de complejidad presentes y su relación con otras tecnologías.

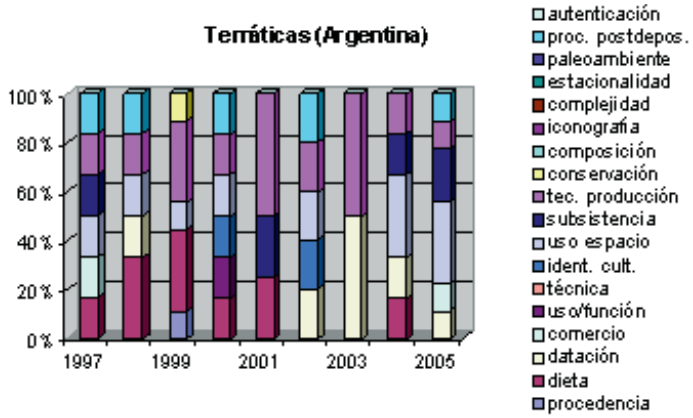


Figura 2.3. Comparación de las temáticas en publicaciones argentinas.

La subsistencia es también tema obligado, tanto para sociedades cazadoras-recolectoras como para las sedentarias, incluidas las coloniales y republicanas. Directamente vinculada a estas prácticas de subsistencia, y al interés en el uso del espacio, se encuentran numerosos estudios focalizados en la dieta, aplicados en diversidad de materiales tanto antracológicos, lipídicos, óseos, etc.

Los procesos postdepositacionales cobran un nuevo énfasis, esta vez no sólo para identificar la historia de formación geológica y cultural de los yacimientos sino, fundamentalmente, para evaluar la integridad del registro que se someterá a estudios arqueométricos o tafonómicos.

Un número nada despreciable de artículos se limitan a la datación en cuanto a objetivo del estudio arqueométrico. Por lo general, estos trabajos se integran dentro de proyectos mayores, donde el estudio presentado es sólo un preliminar de una investigación en proceso. Además, se incorporan las fechas realizadas sobre materiales no tradicionales en la arqueología del país, como los pigmentos.

Débilmente aparecen en los últimos años trabajos vinculados a la conservación y restauración de objetos y yacimientos arqueológicos con miras a su preservación y puesta en valor. Sin embargo, la seriedad con la que se está encarando esta problemática es particularmente evidente en algunos de los trabajos presentados en el II Congreso Nacional de Arqueometría celebrado este año.

Publicaciones madrileñas

El análisis bibliométrico de los objetivos de investigación planteados en los artículos madrileños que incluyen temas arqueométricos (Fig. 2.4) indica un menor interés en la tecnología de producción (Cordero *et*

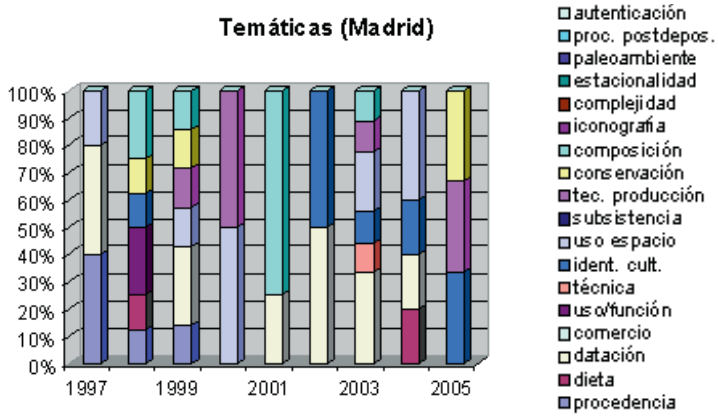


Figura 2.4. Comparación de las temáticas en publicaciones madrileñas.

al., 2006), que se reemplaza por el auge de los estudios de uso del espacio, como veíamos en el caso de los materiales. Los estudios composicionales están presentes, vinculados en muchos casos con los análisis de procedencia.

Las dataciones están casi siempre presentes en estos estudios (que también son en su mayoría partes de investigaciones más amplias) y el interés en temas de conservación y restauración es muy notable, en particular en aquellas publicaciones pertenecientes a los dos museos de arqueología con base en Madrid.

La dieta es un tema casi inexistente, al igual que los estudios teórico-metodológicos sobre arqueometría que se limitan a un solo caso cada uno en toda la década analizada.

Por último, cabe señalar el auge que están cobrando en estos últimos años las temáticas vinculadas a la identidad cultural, con una mayor preocupación por la caracterización social de los grupos humanos en el pasado.

EN SÍNTESIS

Tanto en los contextos europeos como en los americanos la arqueometría en la última década destaca por su participación en eventos y publicaciones generales y específicos, la revalorización del trabajo con artefactos, el desarrollo de una metodología propia que incluye descripciones formales y estadísticas además de las técnicas analíticas, la aplicación de los avances técnico-científicos en el estudio de los materiales, un cambio en la interpretación del registro arqueológico y en las temáticas consideradas, y una mayor participación del analista.

En base a los cambios observados en la disciplina según el estudio bibliométrico realizado, los nuevos intereses en cuanto a los materiales analizados y las temáticas tratadas son similares en los tres casos de estudio.

Los nuevos materiales bajo estudio incorporan restos arqueológicos de períodos recientes, intensificando los estudios de arqueología moderna, industrial y urbana. Además, hay una tendencia cada vez más fuerte a aplicar estudios físicos y químicos a los materiales para establecer protocolos de actuación en cuanto a su puesta en valor patrimonial, conservación y preservación. Sin embargo, el cambio más interesante se da en las temáticas tratadas, el objetivo último de los estudios publicados. El resultado demuestra una mayor madurez tanto en la Arqueología en general como en la incorporación de las analíticas arqueométricas: una vez superadas las dificultades para el conocimiento de las cuestiones más básicas (v.gr. datación, caracterización de materiales), las investigaciones se centran en problemas que se decantan básicamente por la búsqueda de las particularidades de los grupos humanos o individuos representados por los objetos bajo estudio, y aparecen cuestiones como la identidad social, las interrelaciones basadas en el intercambio, o la constitución de la unidad productora o doméstica.

A la vez que los intereses a nivel micro van en alza, el estudio macroespacial no pierde importancia, con la utilización de diferentes métodos de prospección y de estudios sedimentológicos para la investigación del uso del espacio por parte de las sociedades pasadas, ya sea en cuanto a localización de yacimientos o a la caracterización de espacios rituales, de habitación, de producción y de tránsito. Si bien la tendencia al estudio de temáticas más sociales es más marcada y temprana en los estudios americanos, en la actualidad los casos de estudio muestran una leve inclinación semejante en el Viejo Mundo; la misma situación es notable, esta vez en sentido inverso, en la utilización de técnicas de prospección espacial.

LA ARQUEOMETRÍA EN LA ACTUALIDAD

En base a la revisión llevada a cabo, tanto a nivel general como en los casos de estudios particulares, podríamos señalar que en este momento es muy notoria la participación de la arqueometría en el análisis

del material arqueológico y, más importante aún, en el estudio de la vida social vinculada al mismo. Es de particular interés la consideración de la esfera social en estos estudios, contradiciendo muchas predicciones que indicaban que un mayor interés en las características técnicas del artefacto repercutiría en la inclinación de nuestra disciplina hacia una estructura científica desnuda de valores humanísticos (Trigger, 1989). Afortunadamente se están tomando orientaciones que intentan sincretizar ambos aspectos, si bien por el momento su presencia es un poco tenue, ligeramente más representativa en los estudios realizados en el continente americano. Esta inclinación responde en parte a las diferencias teóricas de la formación académica en los distintos países y, con ello, a los intereses de investigación. Sin embargo, en líneas generales, y siguiendo las recientes orientaciones en arqueología, los estudios arqueométricos en este momento parecerían inclinarse hacia la discusiones de temáticas que podríamos considerar más "humanas".

Por otro lado, en necesario recordar como su principal desventaja que la arqueometría es de integración muy reciente y no se ha difundido en forma masiva, en especial en el caso de la arqueología latinoamericana. Ello se debe no sólo a la necesidad de romper esquemas tradicionales tanto teóricos como metodológicos dentro de la disciplina, sino fundamentalmente a los altos costos de la mayoría de los ensayos, que en los exiguos presupuestos que financian muchas investigaciones representan una inversión excesivamente grande, en particular cuando los análisis deben ser encargados a instituciones o empresas externas. Ello repercute en una escasa representatibilidad estadística de los ensayos realizados, convirtiendo a la mayoría de los datos en anecdóticos debido a su bajo número, incapaces de mostrar tendencias o permitir un trabajo de síntesis.

Por otro lado, se está notando en todos los niveles el interés arqueométrico. De hecho ya tiene consideración en los programas académicos, si bien sólo indirectamente y en la mayoría de los casos dentro de la etiqueta general de la interdisciplinariedad. Por otro lado, varias instituciones que solicitaban los estudios al exterior se están planteando la necesidad de crear sus propios laboratorios específicos para realizar estudios sobre materiales arqueológicos y algunos de ellos ya están en funcionamiento. Sin duda, éste será un paso decisivo ya que se trabajará conjuntamente con el analista y ello eliminará las trabas físicas, además de las teóricas y metodológicas, para la completa integración de la arqueometría en el estudio de las sociedades del pasado.

BIBLIOGRAFÍA

CORDERO, T.; GARCÍA, L.; HURTADO, V.; MARTÍN J.; POLVORINOS, A. y TAYLOR, R. 2006: "La arqueometría de materiales cerámicos: Una evaluación de la experiencia andaluza". *Trabajos de Prehistoria* 63 (1): 9-35.

FERRARO, L. 2007: "Monitoreo para la conservación de arte rupestre". *Actas del II Congreso Argentino y I Latinoamericano de Arqueometría: 100-101.* Buenos Aires. e.p.

MONTERO RUIZ, I.; GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. 2007: "Arqueometría: Cambios y tendencias actuales". *Trabajos de Prehistoria* 64 (1): 11-29.

TRIGGER, B. 1989: *A History of Archaeological Thought.* Cambridge University Press. Cambridge.

VIDAL, A. 2006: "El análisis arqueométrico: un extraño abriéndose paso en la arqueología americana". *Actas del 52º Congreso Internacional de Americanistas.* Sevilla. e.p.

VIDAL, A. 2007: "La arqueometría americana en la actualidad: un pequeño paso para el investigador, un gran salto para la disciplina". *Actas del II Congreso Argentino y I Latinoamericano de Arqueometría: 75-76.* Buenos Aires. e.p.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

LA FRACTURACIÓN Y FRAGMENTACIÓN DE HUESOS LARGOS DURANTE EL PALEOLÍTICO. UNA APROXIMACIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA*

PALAEOLITHIC LONG BONES FRACTURATION AND FRAGMENTATION. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACH

JUAN VICENTE MORALES PÉREZ[1], JEAN-PHILIP BRUGAL[2], MANUEL PÉREZ RIPOLL[1], BERTILA GALVÁN SANTOS[3], CRISTO HERNÁNDEZ[3]

(1) Departamento Prehistoria y Arqueología, Facultat de Geografia i Història. Universitat de València, Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010. Valencia. Contacto: Juan.Morales@uv.es
(2) UMR 6636 du CNRS, Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme. 5 rue du Château de l'Horloge, BP 647 - F- 13094, Aix-en-Provence cedex 2.
(3) Departamento Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua, Facultad de Geografía e Historia. Universidad de La Laguna, Campus de Guajara. 38205 La Laguna. Santa Cruz de Tenerife.

RESUMEN

Los restos óseos indeterminados son normalmente minusvalorados en los estudios zooarqueológicos. Sin embargo, un estudio más detallado de ellos podría aportar información sobre diferentes procesos tafonómicos así como completar y corregir los estudios centrados en los restos determinados. Este estudio pretende acercarse a estos restos mediante el planteamiento de hipótesis y la confección de un marco teórico y metodológico a través del análisis métrico y morfológico. Este trabajo se enmarca dentro de los estudios interdisciplinares que se están llevando a cabo en el yacimiento musteriense de El Salt (Alcoy, Alicante).

ABSTRACT

Bone splinters and non-determinable bone fragments are usually undervalued on archaeozoological works. However, it is reasonable to think that a more detailed work about this kind of remains could bring more information about taphonomic processes, and correct and complete works that are based on determinable bone remains. The aim of this work is to establish a theoretical and methodological framework in order to study this remains through metric and morphological analysis. This work fits into the interdisciplinary works that are being performed on the Mousterian site of El Salt (Alcoy, Alicante).

Palabras clave: Zooarqueología, tafonomía, análisis métrico, Paleolítico, El Salt.

Key words: *Zooarchaeology, taphonomy, metric analysis, Palaeolithic, El Salt.*

* Este trabajo se realiza en el marco del proyecto "Tras las Huellas de los Neandertales. El Origen del poblamiento humano en los valles de Alcoy" (HUM2004- 01427/HIST) y con la autorización de la Direcció General del Patrimoni Històric de la Generalitat Valenciana.

Los restos óseos indeterminados, aquellos que no han podido ser identificados taxonómicamente o bien taxonómica y anatómicamente en los inventarios zooarqueológicos, ocupan la mayor parte de las veces un lugar secundario en los estudios arqueofaunísticos donde, si es el caso, podemos encontrar su recuento y en ocasiones su peso. Sin embargo, y más si hablamos de yacimientos preneolíticos donde la fractura de los huesos aún es más intensa, estos restos pueden llegar a representar entre el 70 y el 95% de la muestra (Daujeard, 2004). Esta divergencia entre la cantidad de restos y la información que de ellos se recupera se debe quizá en gran medida a la falta de análisis realmente intensivos de estos restos. Existen debates sobre la necesidad, la conveniencia o no del estudio de fragmentos de diáfisis de huesos largos cuando éstos pueden ser identificados anatómica y taxonómicamente (Pickering *et al.;* 2003, Stiner, 2002). Sin embargo, no es éste el tema que planteamos en el presente trabajo. Los restos objeto de esta comunicación son aquellos que, más allá del mayor o menor tiempo que se dedique a su estudio, suelen pasar, como ya hemos dicho, directamente al cajón de los "indeterminados", categoría que por otro lado y como veremos no es única ni homogénea.

Partimos de la hipótesis de que su cantidad, su importancia relativa, su morfología, etc. pueden ser, en general, indicadores de diferentes hechos o acciones tafonómicas que comprenden la propia actividad humana de fractura sistemática de los huesos para la extracción de la médula, grasa, etc.; actividades carniceras no antrópicas ligadas con las acciones de otros carnívoros y alteraciones postdeposicionales en general que se dan en un yacimiento arqueológico. Así mismo, estos restos y su análisis pueden funcionar como una especie de elementos correctores de los resultados de los estudios basados fundamentalmente en los restos determinados, proporcionando una visión más exacta o quizá menos sesgada por las capacidades de determinación del especialista. Su inclusión en un análisis global puede llevarnos, por ejemplo, a relativizar conclusiones sobre la presencia o ausencia de determinadas partes anatómicas (Costamagno, 2002, 2004), a permitirnos una interpretación más correcta de la intensidad de la afección del fuego (Castel, 2004; Théry-Parisot *et al.,* 2004), a valorar de forma más certera la presencia real de restos de diáfisis y de epífisis, etc.

En el presente trabajo queremos realizar una aproximación a estos restos "indeterminados" a partir de su estudio métrico, morfológico e histológico, así como del tipo de fractura o fragmentación que presentan y en general, de su historia tafonómica. La intención es abrir nuevas vías de acercamiento al estudio y análisis de estos restos. Obviamente, al tener un carácter iniciador y experimental, no es la pretensión de este trabajo establecer conclusiones, sino valorar y probar los diferentes sistemas de análisis sobre diversos registros. Así mismo, no vamos a introducir otras variables tafonómicas que sin duda juegan un papel importante en la conformación de la muestra, tales como el fuego, la meteorización, la bioturbación, etc. dado el carácter introductorio del trabajo. Por supuesto, estas variables se irán incorporando progresivamente en futuros estudios, intentando entender, en la medida de lo posible, cómo y en qué medida cada una de ellas afecta a la caracterización del registro. Cuando estos sistemas de análisis y estas hipótesis de trabajo adquieran suficiente entidad a través de la constatación positiva de su validez sobre diversos registros, será cuando estemos en posición de plantear conclusiones. En cualquier caso, sí queremos mostrar la importancia que estos restos "indeterminados", normalmente menospreciados, tienen en los registros arquefaunísticos.

En el origen del presente trabajo se encuentra el estudio pluridisciplinar que se está llevando a cabo en el yacimiento musteriense de El Salt (Alcoi, Alicante), (p.e. March *et al.,* en este volumen; Galván Santos, 2000; Rodríguez Rodríguez *et al.,* 2002). En este yacimiento encontramos la secuencia final del Paleolítico medio, con una actividad antrópica muy intensa entre el 60000 y el 40000 BP (59.1 ± 8.9 ky BP hasta el 43.2 ± 3.3 ky BP) que va debilitándose en los niveles superiores de la secuencia y que finaliza sobre el 30000 BP. El material objeto de este estudio proviene del nivel VIII, datado en torno al 43000 BP (Galván Santos *et al.,* 2001). Sus características, su buena conservación y documentación permiten realizar un

interesante análisis de estos restos "indeterminados", funcionando en este sentido como un pequeño banco de pruebas. La fauna de este nivel se compone principalmente de caprinos *(Capra* cf. *pyrenaica),* seguidos en número de restos por el ciervo y el caballo. El uro, aunque está presente, es claramente marginal, y su escaso número de restos nos aconseja no incluirlo en este trabajo. El NR estudiado asciende a 848, de los que se han determinado taxonómica y anatómicamente 243. El resto conforman el denominado grupo de los indeterminados tal y como se aprecia en la Tabla 1. Los restos utilizados para el trabajo son los fragmentos de diáfisis mayores de 1 cm., dejando para posteriores trabajos el análisis de los restos esponjosos y de morfología atípica (huesos planos, vértebras, etc.).

Determinados	243	28,6%
Frag. diáfisis	427	54,4%
Frag. Artic / esponjosos	97	11,44%
Frag. atípicos	81	9,55%

Tabla 1. NR y % de restos determinados e indeterminados del nivel VIII de El Salt.

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

En primer lugar entendemos que es necesario establecer un marco teórico y metodológico donde se definan algunos de los conceptos y variables utilizadas en el trabajo. La necesidad de aclarar estos conceptos, que *a priori* pueden parecer obvios, se fundamenta en la conveniencia de establecer términos concretos para definir procesos de causalidad diferente que a veces se entremezclan en la literatura. Vamos a centrarnos en la definición y el significado de identificado e indeterminado, fractura y fragmentación y los factores que afectan a la morfología de las esquirlas óseas.

a) Restos identificados vs. indeterminados: usualmente se define como "resto identificado" aquel fragmento óseo que ha podido ser atribuido a un elemento anatómico y taxón determinados, agrupando el resto de los fragmentos en el cajón de sastre de los "indeterminados". Estos restos "indeterminados" presentan, sin embargo, lo que podríamos considerar un gradiente de indeterminación, desde aquellos que no pueden ser identificados a nivel taxonómico pero sí anatómico hasta aquellos en los que realmente no podemos identificar ni la taxonomía, ni la unidad anatómica ni siquiera la clase de talla del animal (Tabla 2). **El primer grupo de los indeterminados (RDa: Restos Determinados anatómicamente)** recoge todos aquellos restos que han podido ser atribuidos a un elemento anatómico, pero no así a un taxón concreto. En el caso de los huesos largos esto suele suceder con fragmentos de diáfisis cuyo elemento anatómico es fácilmente identificable por su morfología o sus elementos diagnósticos, pero que plantea dudas en su atribución taxonómica, aunque sí que podemos atribuirlos a una clase de tamaño mediante la medida del espesor de la cortical, como ahora veremos. **El grupo segundo de los indeterminados (RDbm: Restos Determinados *body mass)*** está principalmente formado por fragmentos de diáfisis, generalmente pequeños y carentes de elementos diagnósticos tanto a nivel anatómico como taxonómico, de los que hemo podido medir el espesor del hueso cortical. Por último, **el tercer grupo (RnD: Restos no Determinados)** de indeterminados se compone de aquellos restos que no hemos podido ni siquiera atribuir a una de las clases de talla. En el caso de los fragmentos de diáfisis este grupo suele reducirse a fragmentos exfoliados, erosionados o con corrosiones que impiden medir el tamaño de la cortical y su atribución a los grupos de talla. También quedarían incorporados aquí los restos de hueso compacto o esponjoso de pequeño tamaño. De forma convencional, en este grupo incluimos aquellos restos no

atribuibles a un taxón o una unidad anatómica menores de 1 cm. Si obviamos el grupo de los RnD, de los cuales no vamos a tratar en el presente trabajo pues los consideramos "ruido", la mayor parte de los restos recuperados en los yacimientos arqueológicos se agrupan dentro de los RDbm. Si bien en la clasificación presentada no hacemos referencia a la histología del hueso, en este trabajo nos vamos a centrar en los fragmentos de diáfisis. Sin embargo, lógicamente en este y en los otros grupos presentados podemos encontrar también restos esponjosos, articulares o de huesos de morfología atípica que cumplan los requisitos expuestos. El problema es que en el caso de los RDbm el único requisito que deben cumplir es la posibilidad de adscribir al resto dentro de una clase de talla, y como veremos, este ejercicio está vinculado a la posibilidad de medir el espesor del hueso cortical, que resulta prácticamente imposible si se trata de fragmentos esponjosos o atípicos. El hecho de que la mayor parte de los restos recuperados en los yacimientos —por regla general— pertenezcan al grupo Dbm es importante en el sentido de que los debates desatados y ya comentados sobre el estudio de los fragmentos de diáfisis se plantean sobre el efecto de su inclusión o no en el estudio sobre la representación anatómica de los taxones o clases de edad. Sin embargo, en el caso de los restos Dbm solamente tenemos la posibilidad de conocer, como mucho, la clase de talla *(body mass)* mediante la medida del espesor de la cortical. Y precisamente estos son los restos que nos interesan para nuestro propósito. Volveremos sobre este tema cuando tratemos las medidas.

Grupos	Taxo	Anat	Body mass	Abrev.	Ejemplo
Determ	+	+	+	NRDt	Húmero dt. derecho de ciervo macho
Indet 1	-	+	+	NRDa	Frag diaf. húmero talla grande
Indet 2	-	-	+	NRDbm	Frag. diaf. talla mediana
Indet 3	-	-	-	NRnD	Frag. diaf.

Tabla 2. Características de los grupos de restos determinados e indeterminados. + indica que pueden ser determinados taxonómicamente (Taxo), anatómicamente (Anat) y por clases de talla (Body mass). – indica que no puede identificarse el parámetro. Se indica la abreviatura que se va a usar en el texto y un ejemplo.

b) Fractura vs. fragmentación: estos dos conceptos, utilizados de forma independiente y alternativa en la bibliografía deben ser definidos de forma clara para evitar confusiones. En nuestro trabajo entendemos **fracturación** como el quebrantamiento o rotura intencionada de un hueso por agentes bióticos, distinguiendo aquí acciones culturales o etológicas, si ésta es producida por el ser humano o animales. La **fragmentación** estaría producida por agentes bióticos de forma no intencionada (ej. pisoteo, cremaciones sobre sedimento que incluye restos óseos, etc.) o por agentes no biológicos (geológicos s.l. o climáticos). También existen diferencias en el tiempo en el que se producen derivadas de los agentes y la intencionalidad: mientras que la fractura, por definición requiere ser producida en un momento anterior a la deposición del resto, la fragmentación del mismo puede producirse con anterioridad, de forma sincrónica o con posterioridad a la deposición. De esta secuenciación se puede deducir que en general la fragmentación se produce con posterioridad a la fractura. Este hecho, como veremos, va a marcar una pauta general en estos restos: los huesos fragmentados tienden a ser más pequeños que los fracturados, o bien a presentar un tamaño similar al de los fracturados más pequeños.

c) Factores de variabilidad intrínsecos y extrínsecos: los factores que en última instancia van a determinar la morfología de la esquirla o resto óseo son de estos dos tipos. Por un lado, factores intrínsecos al propio animal, como la edad o el sexo (que afectan a la morfología y resistencia del hueso) y al propio hueso, (su histología). Por otro lado, los factores extrínsecos, ligados a la historia tafonómica sufrida por el hueso, y donde encontramos procesos de fractura (agentes tafonómicos s. l.), tal y como ya la hemos definido, y fragmentación (agentes tafonómicos s.e.).

LAS MEDIDAS DE LA VARIABILIDAD

De la duplicidad de factores que definen la morfología de los restos de diáfisis se derivan una serie de medidas relacionadas con ellos y que conforman la metodología de análisis métrico de estos restos (Figura 1):

1. Variabilidad intrínseca. Medida de la cortical y Body mass classes

Una de las medidas que incorporamos en este estudio es el espesor del hueso cortical. Se trata de una medida intrínseca al hueso y por ello su principal característica es que no se ve alterada por los procesos tafonómicos, puesto que para que pueda ser tomada y resulte de utilidad es necesario que el espesor del hueso cortical no esté alterado. Esto supone que no puede tomarse en el caso de huesos que presenten alteraciones severas debidas a la erosión, lixiviación, meteorización o fuego (aunque, aún a falta de un estudio más intenso, creemos que la afectación y reducción del espesor del hueso cortical se da en caso de exposición a fuego intenso o durante prolongados periodos de tiempo en huesos generalmente considerados carbonizados o calcinados). La utilidad de esta medida es la posibilidad de establecer grupos de restos pertenecientes a diferentes clases de talla. Para ello, partimos de las medidas de los restos identificados taxonómicamente, de forma que creamos un *corpus* de referencia sobre el que proyectar las medidas obtenidas de los fragmentos de diáfisis no identificadas taxonómicamente. De esta manera podemos crear grupos por talla de animales en función de los taxones identificados en cada yacimiento. Pese a que no negamos la utilidad de las *size classes* más tradicionales (Brain, 1981), consideramos que en este caso esta medida resulta más real y útil a la hora de valorar la cantidad de restos de diáfisis —recordemos que son los más abundantes en los yacimientos—para cada uno de los grupos de talla definidos a partir de los restos determinados.

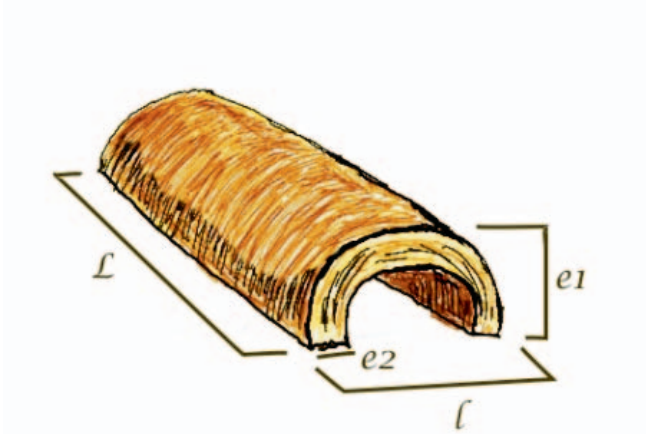


Figura 1. Medidas utilizadas en el trabajo y propuestas para el análisis métrico de restos de diáfisis. L: longitud del fragmento tomada en paralelo al eje longitudinal del hueso cuando esto es posible; l: anchura del fragmento; e1: altura o espesor del arco de diáfisis conservado; e2: espesor del hueso cortical.

En la Figura 2 se presentan las frecuencias observadas del espesor del hueso cortical en los huesos de los tres taxones principales identificados en El Salt. El gráfico nos permite observar que el rango de variación de esta medida para cada uno de los taxones es elevado debido a la propia variabilidad de la medida entre diferentes los huesos largos del esqueleto y dentro del mismo hueso (zona proximal, zona distal, central, existencia de crestas...), lo que da lugar a importantes solapamientos debidos así mismo a la variabilidad intra e interespecífica. En el caso de El Salt, por ejemplo, no existe un solapamiento entre las medidas de los huesos de cabra y de caballo (aunque la diferencia entre el máximo para la cabra y el mínimo para el caballo es de escasamente un milímetro) pero sí entre el ciervo y la cabra —animales de "talla mediana"—. Este gráfico nos permite ver la horquilla y distribución de medidas para cada taxón así como las zonas de solapamiento que se establecen entre ellos. Las áreas que podemos definir a partir del gráfico las podemos proyectar sobre el gráfico de frecuencias de la medida e2 de los restos Dbm de este nivel (Figura 3), de manera que podemos ver fácilmente la distribución de estos restos en las distintas

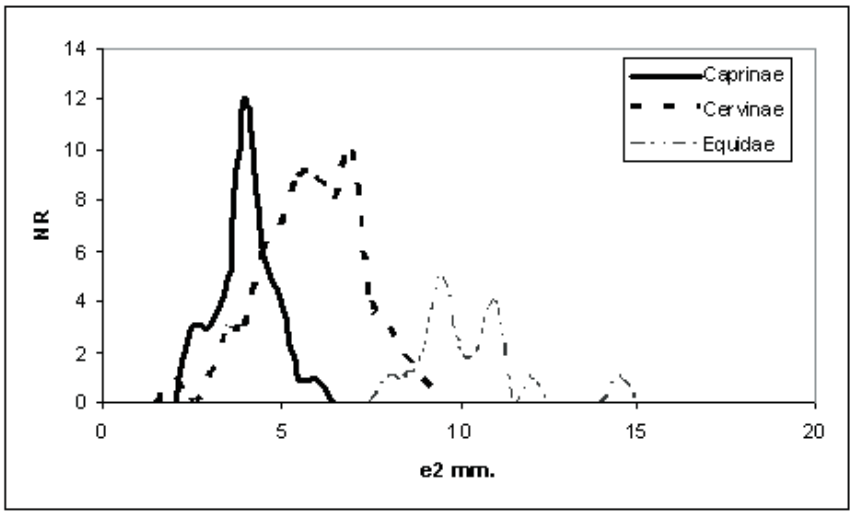


Figura 2. Histogramas superpuestos del número fragmentos de diáfisis identificadas taxonómicamente donde se ha medido el espesor del hueso cortical en el yacimiento de El Salt.

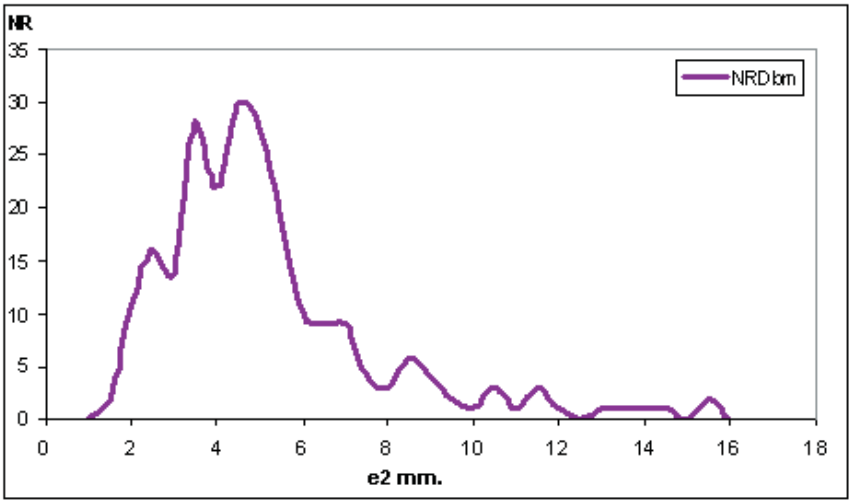


Figura 3. Histograma de e2 en fragmentos de diáfisis no identificados taxonómicamente del nivel VIII del yacimiento de El Salt. Se han superpuesto los intervalos ocupados por los diferentes taxones y sus áreas de solapamiento.

áreas definidas por los taxones identificados. Se puede apreciar que la mayor parte de los restos indeterminados se concentran en el área de solapamiento de *Capra* y *Cervus,* siendo imposible su discriminación. También en el área de solapamiento de *Cervus-Equus* encontramos algunos restos, pero esta área es mucho más pequeña que la anterior. Lógicamente, este gráfico no nos permite diferenciar especies, pero sí grupos de talla. Podemos concluir afirmando que en el caso del yacimiento de El Salt podemos diferenciar de forma clara y objetiva dos grupos de talla o masa corporal: mamíferos (herbívoros) pequeños (Cabra-Ciervo) y mamíferos grandes (Caballo), pudiéndose situar el límite entre estos dos grupos de tamaño aproximadamente entre los 8,5-9 mm. de espesor del hueso cortical. Podemos acercarnos también a la validez de este punto establecido por la observación del gráfico de forma más precisa a través de pruebas de normalidad. Si aplicamos el test de Kolmogorov-Smirnov a la variable e2 de la totalidad de la muestra, K-S(245)=0,169; $p<0,05$, comprobando que esos datos no provienen de una población normalmente distribuida. En cambio, si volvemos a realizar la misma prueba, pero esta vez sobre los

restos del grupo de talla media, situando el punto de corte en los 8 mm. de espesor nos encontramos que K-S(216)=0,039; p>0,05; es decir, estos datos sí que provienen de una población normalmente distribuida. Si elevamos el punto de corte a los 8,5 mm., K-S (223)=,058; p=0,067; de nuevo comprobamos que los datos provienen de una población normalmente distribuida. En cambio, si situamos este límite en los 9 mm. de espesor, para el grupo de talla mediana, K-S(226)=0,69; p<0,05; es decir ahora los datos ya no provienen de una población normalmente distribuida. En el caso del grupo de talla grande, el menor número de observaciones dificulta su análisis, y realizados los tests tanto de Kolmogorov-Smirnov como de Shapiro-Wilk, sistemáticamente p<0,05, lo que nos obliga a aceptar que estos datos no provienen de una población normalmente distribuida, excepto si situamos el límite en los 8,5 mm., donde para el grupo de talla grande K-S(22)=0,181; p=0,06, teniendo en cuenta sin embargo que lo poco numeroso de la muestra no permite aceptar este resultado de forma rotunda. Podemos concluir que, si situamos la separación entre grupos aproximadamente entre los 8 y los 8,5 mm., obtenemos para el grupo de tamaño mediano una muestra proveniente de una población normalmente distribuida.

En las Figuras 4 y 5 podemos ver otro ejemplo, en este caso del yacimiento francés de Espagnac. En este caso, al haber solamente dos taxones identificados, el tema se simplifica, ya que la zona de solapamiento es menor, y probablemente, a simple vista, se pueden separar las esquirlas óseas entre las que pertenecen a mamíferos de talla mediana y grande, pudiendo, en este caso suponer que la esquirlas con un espesor entre 2 y 6 mm. pertenecen a reno y la de más de 7,5 a caballo. Es interesante observar este hecho en tanto en cuanto cada yacimiento, en función de las especies identificadas y del propio tamaño de los animales (variabilidad regional y/o temporal), presentará unos tamaños en la cortical de las esquirlas óseas y unas agrupaciones diferentes.

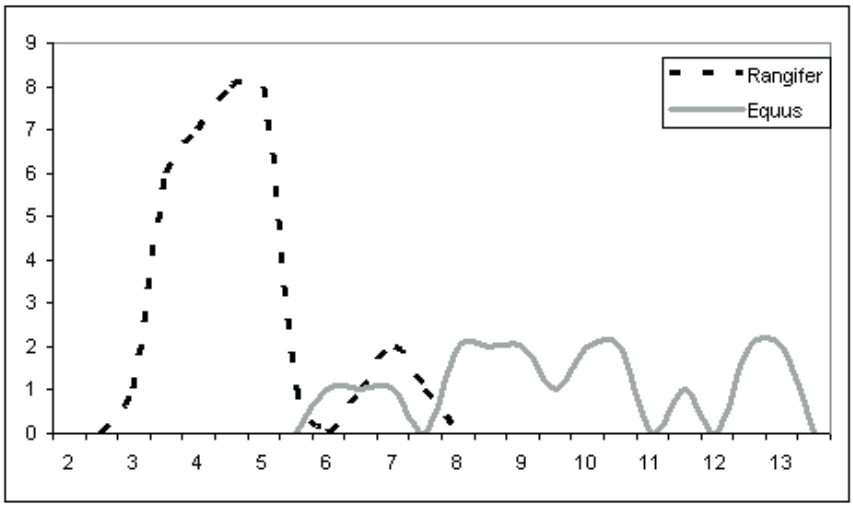


Figura 4. Histogramas superpuestos del número fragmentos de diáfisis identificadas taxonómicamente donde se ha medido el espesor del hueso cortical en el yacimiento de Espagnac. Sólo 2 taxones: *Rangifer* y *Equus.*

2. Factores extrínsecos: fractura y fragmentación

En el análisis de estos valores, uno de los principales problemas es la determinación de las fracturas y la fragmentación, o la "rotura" de los huesos en fresco y en seco. En la bibliografía encontramos diferentes modelos y métodos para su determinación (Lyman, 1994; Outram, 2001) que, sin embargo, no dejan de ser en cierta manera subjetivos y de aplicación complicada, más teniendo en cuenta que en nuestro caso trabajamos con fragmentos de diáfisis que la mayor parte de las veces conservan menos de la mitad de su circunferencia. Para discriminar los huesos fracturados y los fragmentados en este trabajo hemos utili-

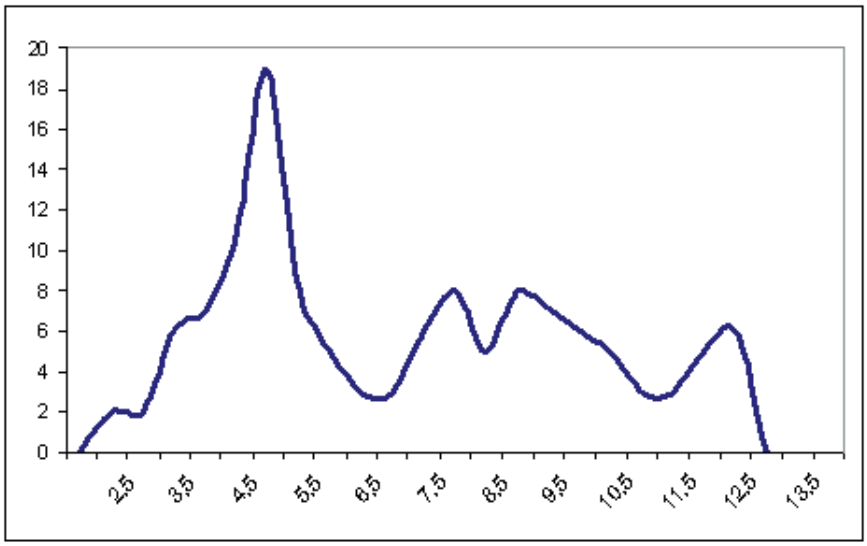


Figura 5. Histograma de e2 en fragmentos de diáfisis no identificados taxonómicamente del yacimiento de Espagnac. Se han superpuesto los intervalos ocupados por los diferentes taxones y sus áreas de solapamiento.

zado como elementos de determinación la morfología de la fractura, el ángulo que forma el plano de fractura y el tipo de superficie de fractura, basándonos en el trabajo citado de Outram. Sin embargo, no siempre es posible discriminar estas fracturas con claridad y de hecho, en muchos casos no ha sido posible clasificarlas. Uno de los principales problemas de determinación, aún más si hablamos de esquirlas, es la abundancia de roturas mixtas, es decir, huesos que presentan unos planos de fractura producidos por la rotura en fresco y otros producidos por la fragmentación del resto. Probablemente en algunos casos hemos incluido en el conjunto de los huesos fracturados o fragmentados restos que realmente han sufrido fracturas mixtas que seguramente han alterado los resultados. Esto nos hace insistir en la necesidad de continuar trabajando sobre los métodos de determinación de la fractura o fragmentación del hueso, ya no sólo

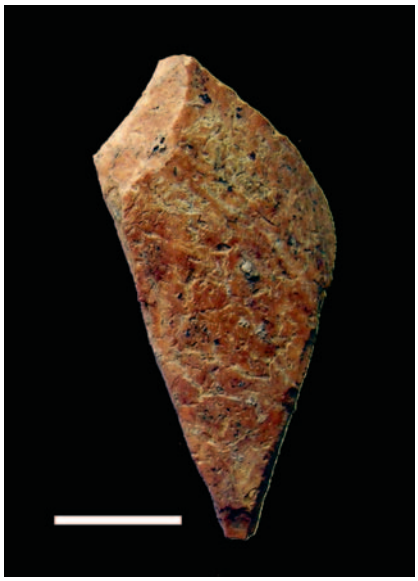


Figura 6. Fragmento de diáfisis fracturado. Presenta características claras de una fractura en fresco: tendencia de las líneas de fractura a la espiral, plano de fractura limpio y ángulos agudos. Escala: 1 cm.

Figura 7. Esquirla de diáfisis fragmentada. Presenta las características propias de la fragmentación: líneas de fractura rectilineas transversales o sub-transversales, así como longitudinales; planos de fractura irregulares y ángulos rectos.

en huesos determinados, sino también en las esquirlas o restos indeterminados. Al llevar a cabo este trabajo nos hemos planteado también la posibilidad de desarrollar métodos de análisis de carácter más objetivo para estudiar estos restos, pues la determinación visual de la fractura, en un intento de establecer si ha sido realizada en fresco o en seco, no deja de depender en última instancia del criterio del especialista. De hecho, en algún método aplicado en este sentido, se nos hace la observación de que el objetivo del método no es la identificación exhaustiva de la causa de la fractura o fragmentación, sino realizar una caracterización rápida del índice de fractura o fragmentación del registro (Outram, 2001).

En las Figuras 8, 9 y 10 podemos observar un hecho lógico: los restos fragmentados son, en general, más pequeños que los fracturados. De hecho, la media de cada una de las medidas extrínsecas siempre es ligeramente inferior en el caso de los restos fragmentados, tal y como puede verse en los gráficos. Lógicamente en la mayor parte de los casos, la fractura es anterior a la fragmentación del resto, y por tanto más pequeños. Esto es así tanto en fracturas longitudinales (Figura 8) como en mixtas (Figura 9) o trasversales (Figura 10). Si, como en el caso de El Salt podemos hacer un pequeño estudio espacial sobre la dispersión de los restos y sus medidas, podemos encontrar elementos que pueden definir la intensidad del uso del espacio. En la Figura 11 se puede ver cómo los huesos más pequeños de cada una de las tres dimensiones extrínsecas se concentran en el extremo superior derecho del diagrama, donde a su vez encontramos la mayor concentración de restos. Este diagrama es una esquematización de la superficie excavada del yacimiento de El Salt. Las dos grandes áreas azules que encontramos en la parte superior izquierda y en la zona derecha del mismo son debidas a vaciados y excavaciones antiguas que no han sido tomadas en consideración en este trabajo, apareciendo de este color que representa la ausencia de restos. Precisamente en esa zona del extremo superior derecho se sitúa el área de fuegos y de mayor actividad antrópica. Los fragmentos más grandes los encontramos fuera de esta área. No ocurre lo mismo con la medida del espesor del hueso cortical, que se distribuye más o menos equilibradamente por toda la superficie. Esto implica que, efectivamente una mayor actividad humana implica una mayor fragmentación de los huesos que encontramos reflejada en esa reducción del tamaño relativamente pequeña, pero detectable, de los restos de diáfisis así como en un aumento en su cantidad absoluta debido a la fragmentación pero probablemente también a una mayor deposición primaria en esta zona.

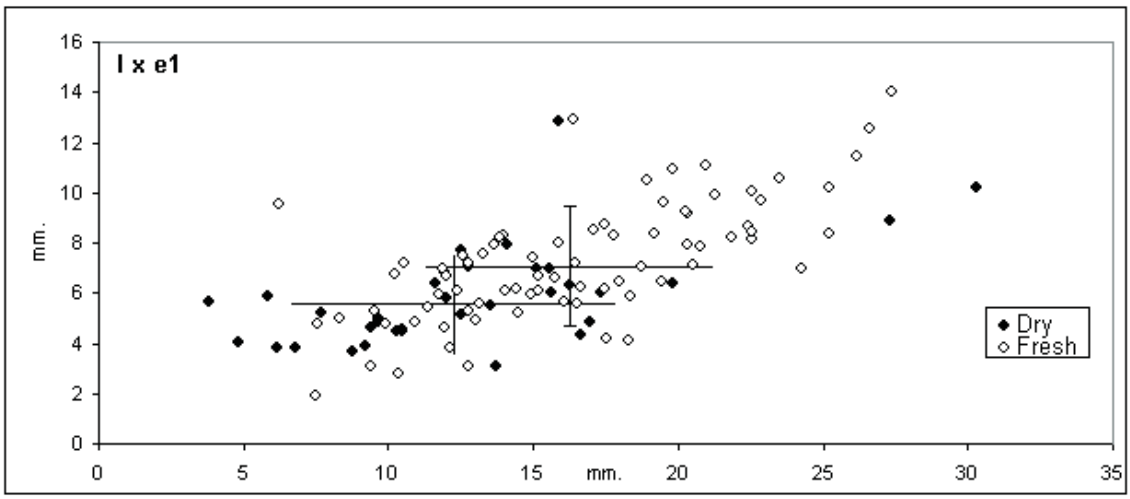


Figura 8. Dispersión de puntos de las variables l y e1 de los restos de diáfisis del nivel VIII de El Salt. Los ejes perpendiculares cruzan en la media para cada grupo, y sus brazos muestran la desviación estandar. Medidas derivadas de la fracturación longitudinal.

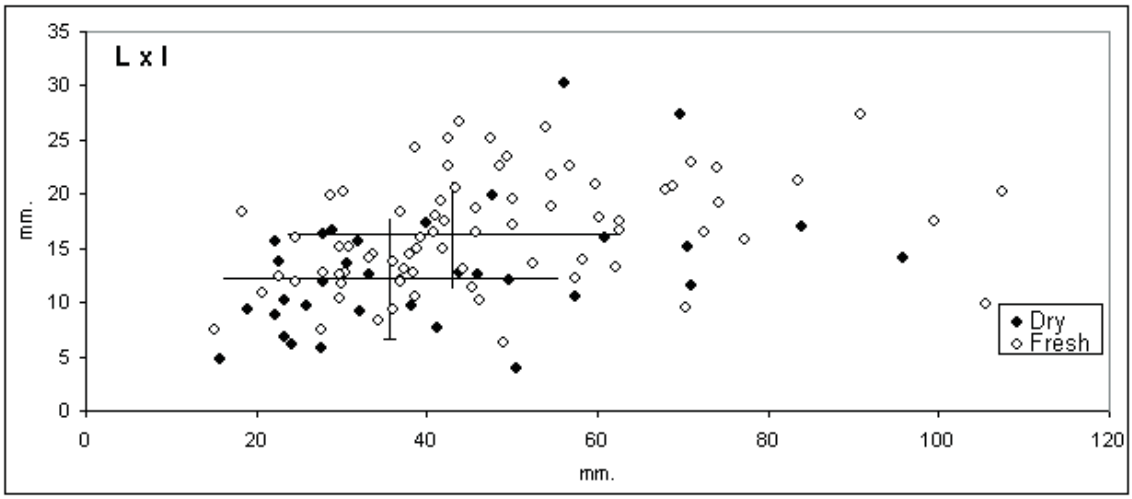


Figura 9. Dispersión de puntos de las variables L y l de lo restos de diáfisis del nivel VIII de El Salt. Los ejes perpendiculares cruzan en la media para cada grupo, y sus brazos muestran la desviación estandar. Medidas derivadas de la fracturación transversal y longitudinal.

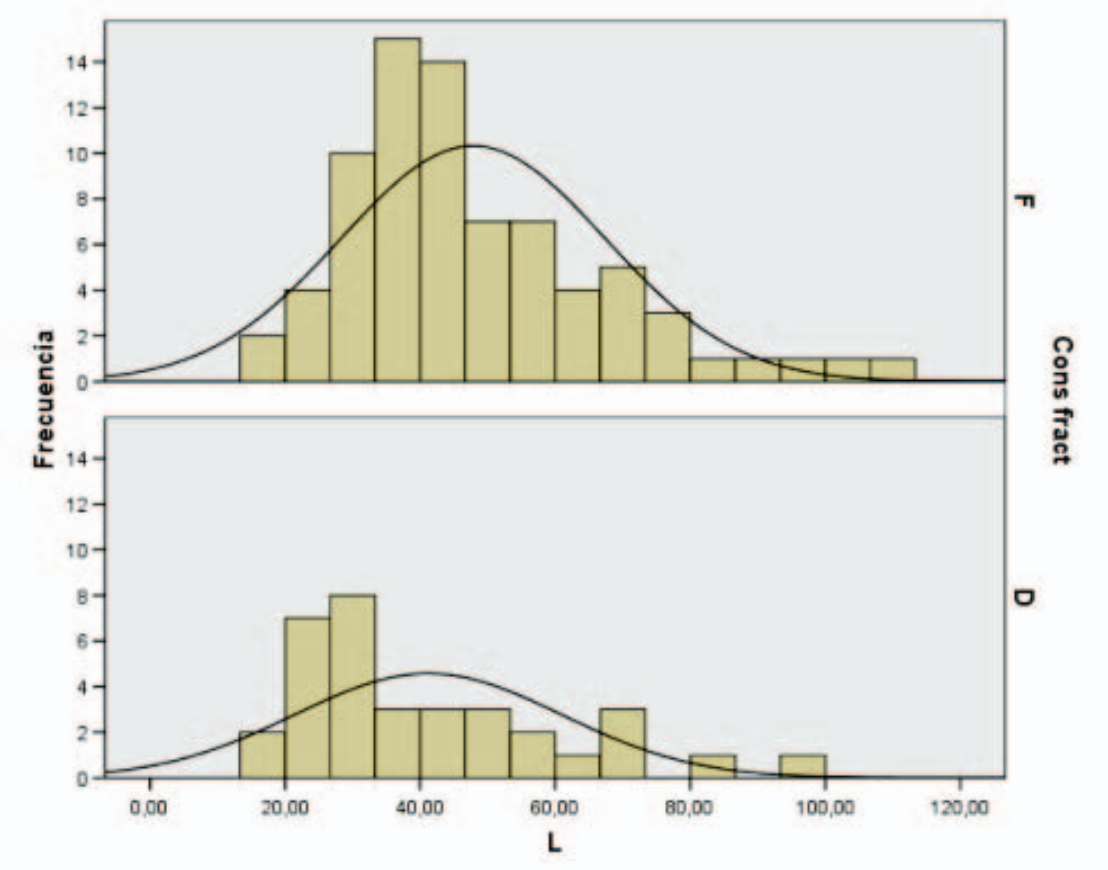


Figura 10. Histogramas de la variable L, derivada de la fractura transversal.

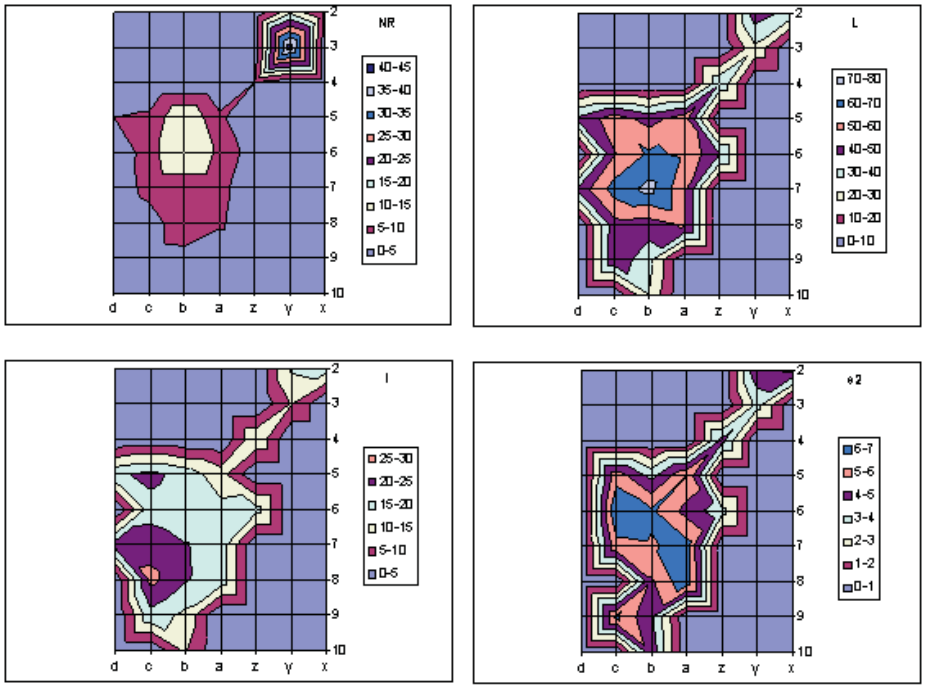


Figura 11. Gráficos de densidad representando la superficie excavada en El Salt, nivel VIII. 11a: densidad de restos en cantidades absolutas; 11b: distribución de la media de L; 11c distribución de la media de l; 11d: distribución de la media de e2. Las densidades y distribuciones se han calculado por cuadros. Medidas de 11b, c y d en mm. Las zonas azules de los gráficos son áreas vaciadas en excavaciones antiguas, no usadas en el trabajo.

Estas mismas medidas se han aplicado también al estudio de los restos Dbm provenientes de la fractura experimental de huesos largos con la intención de detectar posibles relaciones entre las variables en un conjunto de restos fracturados sin fragmentación (Figura 12a). Para ello, se han seleccionado los restos que no podrían ser identificados taxonómica o anatómicamente en caso de recuperarse en un yacimiento arqueológico y se han correlacionado sus distintas medidas. En el caso de la anchura (l) y la altura (e1) se detecta rápidamente una relación lineal entre ellas al realizar un gráfico de dispersión y establecer la recta de regresión.

El coeficiente de determinación o bondad de ajuste r^2 =0,91, lo que nos indica que realmente el ajuste a la recta y la relación lineal entre las variables es intensa. Al realizar este mismo ejercicio con los restos provenientes de los diferentes registros arqueológicos (El Salt y Espagnac) (Figura 12b y 12c) y etnoarqueológicos (conjunto de restos recogido en Turkana, Kenya, por J.P.B.) (Figura 12d), no logramos una bondad de ajuste tan intensa, si bien sí podemos observar que el coeficiente de determinación r^2 es más elevado entre los restos fracturados que entre los fragmentados. Esto sugiere que el ajuste a la recta de regresión de las variables anchura y altura quizá pudiera ser indicativo de la historia tafonómica de la muestra, mostrando valores de r^2 más elevados cuanto mayor sea la cantidad de restos fracturados en fresco que la compongan.

Como hemos visto, en el caso de muestras fracturadas sin fragmentación, la relación y el coeficiente de determinación son muy altos, mientras que en el caso de los restos fragmentados son bajos. Los restos considerados fracturados en fresco de los distintos yacimientos muestran valores intermedios que probablemente estén causados por la presencia de restos con roturas mixtas.

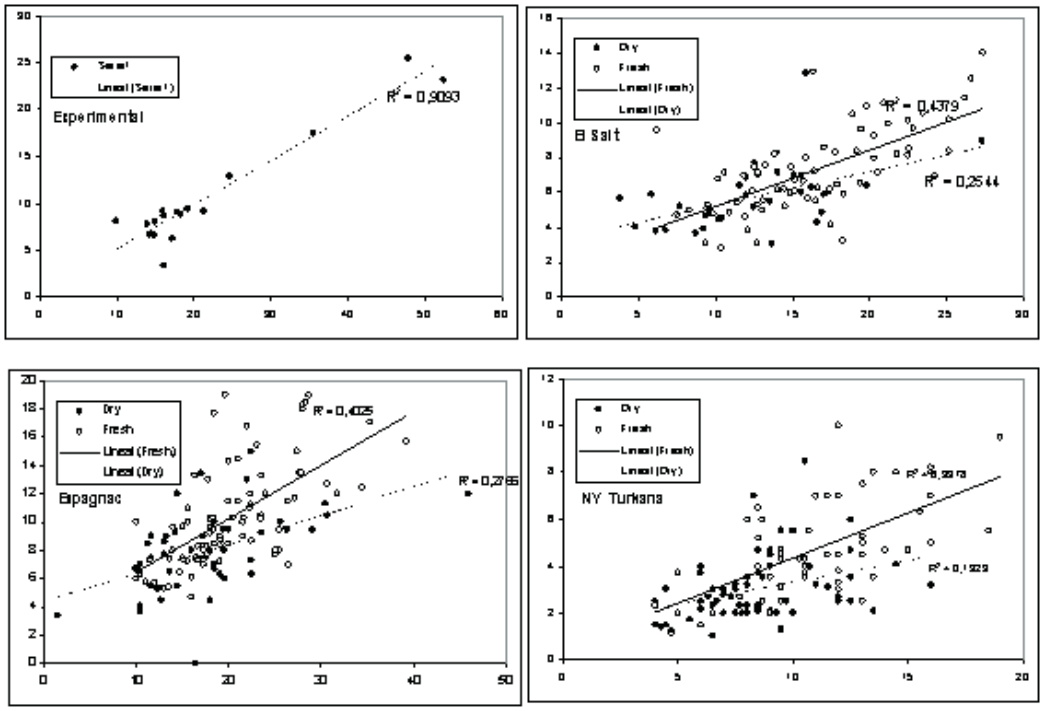


Figura 12. Correlación y recta de regresión para los registros indicados en los gráficos. En los ejes de abcisas y ordenadas, medidas en mm. Dry: restos fragmentados. Fresh: restos fracturados. Junto a las rectas de regresión de las agrupaciones se muestra el coeficiente de determinación. El Salt y Espagnac son registros arqueológicos, Turkana, etnoarqueológico y Experimental hace referencia a restos obtenidos por la fractura experimental de huesos frescos.

A MODO DE BALANCE

Como ya hemos comentado, no podemos ni pretendemos realizar conclusiones al trabajo, pero sí que a modo de balance queremos repasar algunas cosas. En primer lugar, queremos insistir en la importancia tanto cuantitativa como informativa de los restos tradicionalmente llamados indeterminados. Como hemos visto, el estudio más detallado de estos restos puede aportar información sobre las clases de talla de los animales que componen el registro zooarqueológico, ampliando la cantidad de restos adscritos a los diferentes taxones y sobre la historia tafonómica del conjunto. Por un lado, el tamaño de los restos puede ser aplicado también al estudio espacial del lugar si las condiciones propias del yacimiento lo permiten y a las actividades antrópicas o no que se llevaron a cabo en la paleosuperficie del yacimiento. Estas acciones fragmentan los restos, y según su intensidad y duración reducen su talla original debido precisamente a esa fragmentación. Por otro lado, la bondad de ajuste a la recta de regresión de algunas de las variables parece que puede ser una herramienta para medir, o al menos intuir la intensidad precisamente de esa fragmentación, de los procesos postdeposicionales que alteran el conjunto óseo.

Sin embargo somos conscientes de que es necesario ampliar este trabajo con más registros zooarqueológicos que nos permitan contrastar estos primeros resultados y validar o no su funcionalidad. Así mismo es necesario perfeccionar las técnicas de análisis y clasificación de las fracturas frescas (fracturas s.e.) y las fracturas secas (fragmentación s.e.), puesto que esta diferenciación es básica para el correcto análisis de la muestra. La estadística como herramienta de análisis ha de jugar un papel muy importante para probar, con sus resultados como base, la validez o no de las hipótesis de trabajo expuestas. Sin embargo, para su uso primero será necesario trabajar sobre su correcta aplicación al análisis de estos restos.

BIBLIOGRAFÍA

BRAIN, C.K. 1981: *The Hunters or the Hunted? An Introduction to African Cave Taphonomy.*

CASTEL, J.C. 2004: "Fragments, os et squelettes: l'intérêt des décomptes dans l'approche taphonomique des ensembles fauniques". *Les nouvelles de l'Archéologie* 95: 10-12.

COSTAMAGNO, S. 2002: "Laboratory taphonomy - Material loss and skeletal part profiles: the example of Saint-Germain-la-Rivière (Gironde, France)". *Archaeometry* 44: 495-504.

COSTAMAGNO, S. 2004: "Facteurs taphonomiques influant sur la représentation différentielle des éléments squelettiques des animaux chassés". *Les nouvelles de l'Archéologie* 95: 6-9.

DAUJEARD, C. 2004: "Stratégies de chasse et modalités de traitement des carcasses par les néandertaliens de la Grotte Saint-Marcel, Ardèche: (fouilles R. Gilles, ensemble 7)". *Paleo* 16: 49-70.

GALVÁN SANTOS, B. 2000: "El Salt (Alcoi)". *Catálogo del Museu Arqueològic Municipal Camil Visedo Moltó (Alcoi):* 59-62.

GALVÁN SANTOS, B.; HERNÁNDEZ GÓMEZ, C.M.; ALBERTO BARROSO, V.; BARRO ROIS, A.; FRANCISCO ORTEGA, M.I. y RODRIGUEZ RODRÍGUEZ, A. 2001: "Las Sociedades caza-recolectoras neandertalianas en los valles de Alcoi (Alicante, España). El Salt como un Centro de Intervención Referencial". *Tabona* 10: 7-33.

LYMAN, R.L. 1994: *Vertebrate Taphonomy*.

OUTRAM, A.K. 2001: "A new approach to identifying Bone Marrow and Grease exploitation: why the "indeterminate" fragments should not be ignored". *Journal of Archaeological Science* 28: 401-410.

PICKERING, T.R.; MAREAN, C.W. y DOMÍNGUEZ RODRIGO, M. 2003: "Importance of limb bone shaft fragments in zooarchaeology: a response to "On in situ attrition and vertebrate body part profiles" (2002), by M.C. Stiner". *Journal of Archaeological Science* 30 (11): 1469-1482.

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A.C.; GALVÁN SANTON, B. y HERNÁNDEZ GÓMEZ, C.M. 2002: "Contribución al análisis funcional en la caracterización de El Salt como un centro de intervención referencial de las poblaciones neandertalianas en los valles de Alcoi." *Análisis Funcional: su aplicación al estudio de las sociedades prehistóricas:* 121-131.

STINER, M.C. 2002: "On in situ Attrition and Vertebrate Body Part Profiles". *Journal of Archaeological Science* 29 (9): 979-991.

THÉRY-PARISOT, I.; BRUGAL, J.P.; COSTAMAGNO, S. y GUILBERT, R. 2004: "Conséquences taphonomiques de l'utilisation des ossements comme combustible. Approche expérimentale". *Les nouvelles de l'Archéologie* 95: 19-22.

CRISIS CLIMÁTICAS EN LA PREHISTORIA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: EL EVENTO 8200 CAL. BP COMO MODELO

CLIMATIC CRISIS IN THE PREHISTORY OF THE IBERIAN PENINSULA: THE 8200 CAL. BP EVENT AS A MODEL

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SÁEZ[1], LOURDES LÓPEZ MERINO[1], SEBASTIÁN PÉREZ DÍAZ[2]

(1) GI Arqueobiología. Instituto de Historia, CCHS, CSIC. Albasanz 26-28, 28037 Madrid.
Correos electrónicos: alopez@ih.csic.es, lolome@ih.csic.es

(2) Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco. 01006 Vitoria-Gasteiz.
Correo electrónico: sebastian.int@terra.es

RESUMEN

En este trabajo se analizan las evidencias paleoambientales documentadas respecto a un cambio climático abrupto del Holoceno medio, el denominado evento 8200 cal. BP, y su posible relación con el desarrollo del proceso de neolitización en la zona mediterránea occidental de la Península Ibérica durante la transición VII-VI milenios cal. BC. Para entender esta problemática hay que hacer un esfuerzo en la obtención de cronologías precisas de tal proceso y realizar estudios palinológicos a alta resolución capaces de documentar este cambio abrupto de corto recorrido cronológico.

ABSTRACT

In this work the palaeoenvironmental evidences of an abrupt climatic change during Middle Holocene are analyzed, the so-called 8200 cal. BP event, as well as its possible connection with the development of the neolithisation process on the western Mediterranean area of the Iberian Peninsula during the VII-VI millenia cal. BC transition. To understand this problematic an effort needs to be done to obtain precise chronologies of this process, and high resolution palynological studies able to document this abrupt change, of short chronology, have to be conducted.

Palabras clave: Evento 8200 cal. BP, cambio climático, cambio cultural, Holoceno, neolitización, palinología, España mediterránea.

Key words: *8200 cal. BP even, climatic change, cultural change, Holocene, neolithization, palynology, Mediterranean Spain.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, diversas investigaciones paleoambientales, fundamentalmente de índole palinológica, están poniendo en evidencia la existencia de profundos y abruptos cambios climáticos durante el Holoceno de la Península Ibérica, la mayor parte de los cuales coinciden, cronológicamente hablando, con transiciones culturales reseñables de la Prehistoria reciente. Descartando el determinismo ambiental como la única causa explicativa de esta sincronía, ha de señalarse, no obstante, que resulta muy evidente la contemporaneidad cronológica entre dichos cambios climáticos y los respectivos culturales: la transición Calcolítico-Edad de Bronce coincide con el denominado evento climático del 4100 BP (Fabián García *et al.,* 2006); mientras que el tránsito entre las edades del Bronce-Hierro lo hace con otro cambio abrupto hacia el 2800 BP (López Sáez y Blanco González, 2005).

El evento 8200 cal. BP es uno de los momentos de variabilidad climática más característicos del Holoceno, una etapa especialmente fría en el seno del periodo paleoclimático atlántico acontecida *ca.* 7400-7200 BP *(ca.* 8400-8000 cal. BP/ *ca.* 6450-6050 cal. BC) (Bond *et al.,* 1997; Barber *et al.,* 1999; Dean *et al.,* 2002; Heiri *et al.,* 2004). En el Atlántico Norte, de hecho, es el periodo más frío de todo el Holoceno (Wiersma y Renssen, 2006).

Este evento se definió originalmente a partir de un cambio negativo registrado en el $\delta^{18}O$ de diversos sondeos sobre hielo en Groenlandia (GRIP, *Greenland Ice Core Project).* El $\delta^{18}O$ es considerado un buen indicador de paleotemperaturas, ya que valores altos de éste coinciden con aumentos de la temperatura. Durante el evento 8200 cal. BP se constató una disminución de este indicador en el sondeo GRIP, lo que permitió afirmar la ocurrencia de un evento frío en tal marco cronológico (Tinner y Lotter, 2001). Diversos proxies han podido documentar igualmente esta pulsación fría, particularmente en Groenlandia, Atlántico Norte y Europa occidental (Alley *et al.,* 1997; Klitgaard-Kristensen *et al.,* 1998; von Grafenstein *et al.,* 1998; MacDermott *et al.,* 2001; Magny *et al.,* 2003; Heiri *et al.,* 2004; Muscheler *et al.,* 2004). Kurek *et al.* (2002) han cifrado en 4ºC la disminución de la temperatura durante este evento en Norteamérica. Eventos comtemporáneos han sido documentados en Asia occidental y África del Norte (Gasse y Van Campo 1994) y en la región tropical atlántica (Hughen *et al.,* 1996). Se trata pues de un evento con carácter planetario, durante el cual se produce una rápida extensión de especies vegetales sensitivas a la xericidad ambiental (Tinner y Lotter, 2001).

El origen de este evento parece estar relacionado con un aumento del flujo de agua dulce y fría procedente del deshielo de los casquetes polares americano-groenlandeses hacia el Atlántico Norte, alterando las condiciones normales de circulación marina en este océano; siendo este mecanismo la causa más probable capaz de producir el enfriamiento rápido acontecido (Wiersma y Renssen, 2006). Sin embargo, este proceso no está todavía suficientemente documentado ni entendido (Bond *et al.,* 1997; Barber *et al.,* 1999). Este flujo de aguas frías alteró las condiciones paleoclimáticas de la Europa atlántica, dando lugar a temperaturas mucho más frías en todo este territorio que, sin embargo, delimitan pautas de humedad diferentes según el área considerada (condiciones secas en ciertas regiones y húmedas en otras), como consecuencia de diversas anomalías en la precipitación anual derivadas de este evento. Magny *et al.,* (2003) confirman una disminución en 2ºC de la temperatura entre 8400-8300 cal. BP, sincrónica a un máximo del nivel lacustre en el Lago Annecy en los Alpes franceses, contemporánea además de eventos similares en otras secuencias alpinas y escandinavas. Heiri *et al.* (2004), en su estudio sobre diversos proxies paleoambientales en secuencias alpinas, han venido a confirmar que el evento 8200 cal. BP está más bien relacionado con las causas antes citadas que con variaciones de la actividad solar, aunque según estos autores tal evento habría tenido probablemente una mayor amplitud cronológica (8200-7600 cal. BP). Por su parte, Muscheler *et al.* (2004) consideran que el evento 8200 cal. BP tuvo que ser demasiado corto en el tiempo como para considerar sin ambigüedad su origen en los cambios acontecidos en el

patrón global de circulación oceánica, y consideran, basándose en la comparación entre el ^{10}Be y los registros climáticos, que este evento frío también pudo estar relacionado con una menor actividad solar.

En todo caso, el evento 8200 cal. BP fue de naturaleza similar al Dryas reciente desde un punto de vista climático, pero de menor recorrido cronológico (Guiot y Cheddadi, 2004; Wiersma y Renssen, 2006), unos 300-400 años, por lo que sólo podrá apreciarse en aquellas secuencias paleopalinológicas que incluyan este marco temporal preciso, especialmente en aquéllas en las que se siguió un análisis de alta resolución, mientras que en las que se realizaron a menor detalle es probable que el evento no sea registrado, lo cual no implica su no ocurrencia.

El interés arqueológico de este evento se fundamenta en su correlación temporal con abundantes hiatos cronológicos y culturales en numerosos yacimientos a lo largo de todo el Mediterráneo, desde Grecia a la Península Ibérica, lo cual complica la visión de la transición Mesolítico-Neolítico en Europa occidental (Manen y Sabatier, 2003). En Próximo Oriente, el marco cronológico de este evento coincide con rupturas estratigráficas y socioeconómicas asociadas con la redistribución espacial de yacimientos del Neolítico precerámico B (PPNB) (Twiss, 2007). Tales evidencias sugieren la necesidad de revisar el impacto de dichos cambios climáticos y paleoambientales en las bases económicas, socioculturales e incluso cronológicas de los últimos cazadores-recolectores y de los primeros agricultores en la Europa mediterránea, particularmente del litoral de la Península Ibérica.

REGISTRO PALEOAMBIENTAL

La constatación paleopalinológica del evento 8200 cal. BP en la zona mediterránea occidental de la Península Ibérica no es demasiado evidente, por razones que se justifican ante la falta de registros suficientemente detallados tanto a nivel cronológico como muestral. En cualquier caso, algunos de ellos sí nos permiten discernir la ocurrencia y el impacto sobre la paleovegetación de dicho cambio climático abrupto (Fig. 1).

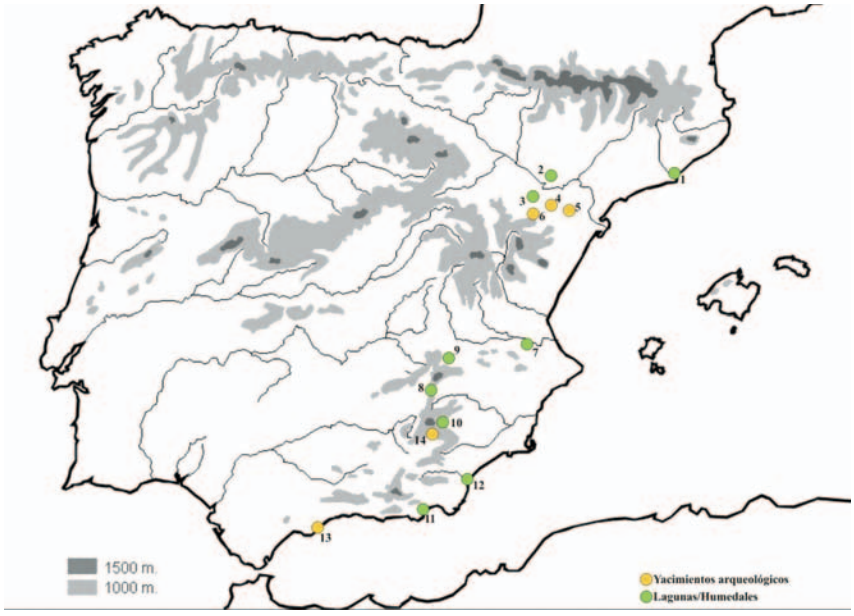


Figura 1. Situación geográfica de las secuencias paleopalinológicas mencionadas en el texto (1 Drassanes; 2 Guallar; 3 Hoya del Castillo; 4 Botiqueria dels Moros; 5 El Pontet; 6 Los Baños; 7 Navarrés; 8 Siles; 9 Villaverde; 10 Cañada de la Cruz; 11 San Rafael; 12 Antas; 13 Bajondillo; 14 Cueva del Nacimiento).

En Cataluña, la secuencia polínica más detallada, a tal respecto, procede de la paleolaguna de Drassanes 1 (Riera, 1993), en el Llano de Barcelona, la cual muestra cómo justo después de la fecha de 7400 ± 80 BP (8378-8028 cal. BP / 6428-6068 cal. BC) se produce un cambio significativo en la vegetación: toma mayor preponderancia el pinar en detrimento del robledal, y desaparecen el aliso y el fresno como elementos más significativos del bosque ripario. Estos datos apoyarían un descenso de la humedad, tanto ambiental como edáfica, tomando mayor relevancia una vegetación adaptada a condiciones xéricas (posiblemente pinares costeros de *Pinus halepensis)* y produciéndose episodios de incendio de origen natural mediados por dichas condiciones secas.

En el Valle Medio del Ebro, el impacto del evento 8200 cal. BP se ve reflejado en la progresión de pinares de *Pinus halepensis* y encinares/coscojares de *Quercus ilex/coccifera* tipo, así como de otros taxones propios de una maquía mediterránea continental termófila. Estos hechos se confirman en los registros polínicos de las lagunas Guallar y Hoya del Castillo (Davis y Stevenson, 2007), así como en niveles epipaleolíticos de los yacimientos de Botiqueria dels Moros, El Pontet y Los Baños (López Sáez *et al.,* 2006). En las dos lagunas, coincidiendo con estos hechos, se produce un aumento espectacular de partículas de microcarbón que reflejan la ocurrencia de incendios de origen climático que no antrópico, en concreto en fechas de 7485 ± 80 BP (8412-8060 cal. BP / 6462-6110 cal. BC) en Guallar y 7325 ± 65 BP (8326-7976 cal. BP / 6376-6026 cal. BC) en Hoya del Castillo. Para este momento disponemos de las fechas de 7550 ± 200 BP (8866-7894 cal. BP / 6916-5944 cal. BC) de Botiqueria dels Moros, 7340 ± 70 BP (8331-7978 cal. BP / 6381-6028 cal. BC) de El Pontet, 7840 ± 100 BP (8986-8422 cal. BP / 7036-6472 cal. BC) y 7570 ± 100 BP (8588-8172 cal. BP / 6638-6222 cal. BC) de Los Baños.

En la Comunidad Valenciana, el evento 8200 cal. BP se manifiesta palinológicamente en la secuencia de Navarrés (Carrión y van Geel 1999) por la preponderancia de los pinares altimontanos y la sensible reducción de los de ámbitos mediterráneos, así como por cierta proliferación de elementos xerófilos *(Artemisia,* Chenopodiaceae) y una reducción muy significativa de hidro-higrófilos como Cyperaceae o *Typha angustifolia* tipo.

En las sierras de Alcaraz y Segura, diversas secuencias polínicas, naturales y arqueológicas, igualmente documentan este episodio climático abrupto. El registro polínico de la laguna de Siles (Carrión, 2002) demuestra una reducción muy significativa del nivel lacustre hacia el 8200 cal. BP, coincidente con una fase muy árida y erosiva en la cual se reduce el porcentaje de algas zygnemataceas y aumenta el de *Pseudoschizaea circula* y ciertos xerófitos, a la vez que se incrementan las partículas de microcarbón como resultado de episodios de incendio de carácter climático. Estos mismos hechos también se documentan en la secuencias polínicas de Villaverde (Carrión *et al.,* 2001a) y Cañada de la Cruz (Carrión *et al.,* 2001b). En Jaén, la secuencia polínica del yacimiento de la Cueva del Nacimiento (López García, 1982) también muestra síntomas de la ocurrencia del evento en los espectros inferiores del diagrama polínico cuando en fecha de 7440 ± 120 BP (8421-8005 cal. BP / 6471-6055 cal. BC) se produce el paso de una vegetación dominante de quercíneas a otra característica de pinar, posiblemente siendo favorecido este cambio por condiciones de mayor xericidad.

En el sureste ibérico, la secuencia de San Rafael (Pantaleón *et al.,* 2003) muestra como hacia el 7100 ± 50 BP (8013-7790 cal. BP / 6063-5840 cal. BC) se produce un cambio drástico en la vegetación (Fig. 2), pues si bien hasta esa fecha abundan las Cichorioideae y se constatan eventos erosivos (presencia de *Pseudoschizaea circula),* es a partir de ella cuando el paisaje empieza a ser dominado por formaciones herbáceas de Chenopodiaceae y Gramineae, así como por una maquía xerotermófila donde abunda el acebuche y *Pistacia,* mientras que entre la vegetación arbórea toman cierta preponderancia los pinares de *Pinus halepensis* posiblemente. Las mismas evidencias se registran en la secuencia polínica de Antas (Pantaleón *et al.,* 1996).

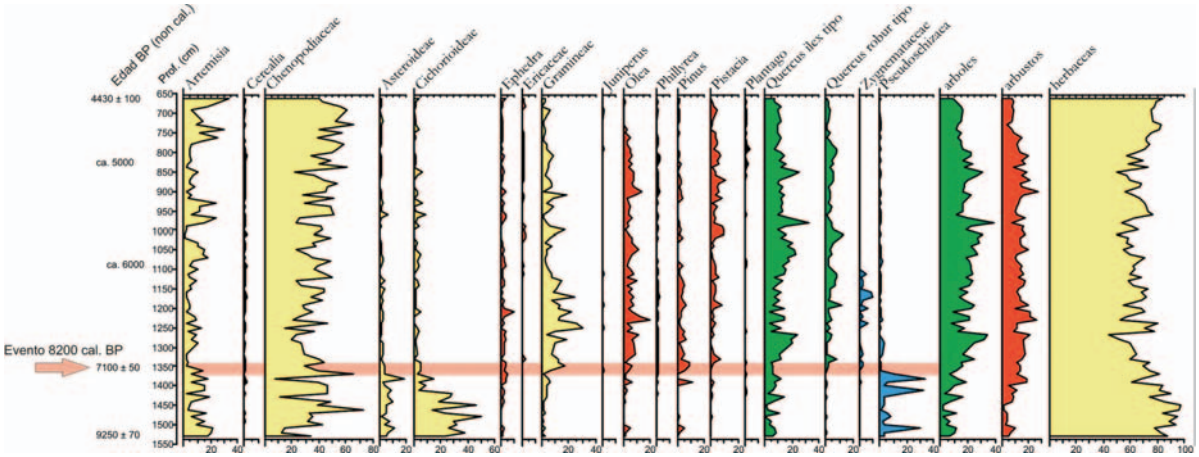


Figura 2. Cambios en la paleovegetación de la secuencia polínica de San Rafael (Almería) durante el evento 8200 cal. BP (modificada de Pantaleón *et al.,* 2003).

En Andalucía oriental, el evento se manifiesta con toda nitidez en el estrato 3 epipaleolítico de la cueva malagueña de Bajondillo (Torremolinos), datado en 7475 ± 80 BP (8409-8058 cal. BP / 6459-6108 cal. BC), en el cual se observa el paso de una vegetación dominante arbórea con anterioridad, a otra en este periodo de marcado carácter xerotermófilo, haciéndose frecuentes formaciones vegetales mejor adaptadas a la xericidad y a un clima probablemente más térmico, del tipo de lentiscos, brezos, acebuche y coscojares/encinares (López Sáez *et al.,* 2007).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El evento 8200 cal. BP ha podido ser documentado paleopalinológicamente en todo el litoral mediterráneo peninsular —desde Cataluña a Andalucía oriental—, al menos en aquellas secuencias con el suficiente detalle cronológico como para recoger este evento, tanto en registros naturales como en yacimientos arqueológicos. Se puede por tanto admitir la ocurrencia en estos territorios de este evento hiperárido, que fue el causante de los cambios acontecidos en la vegetación, especialmente en lo concerniente a procesos de deforestación, pudiéndose descartar completamente un origen antrópico de tales fenómenos.

Magny *et al.* (2003) hipotetizan que la pulsación fría correspondiente al evento 8200 cal. BP coincidiría con condiciones secas en el sur y norte de Europa (centro y sur de Italia y de la Península Ibérica, Gran Bretaña e Irlanda, Escandinavia) y norte de África, y con un clima en cambio húmedo en las latitudes medias europeas (norte de Italia y de la Península Ibérica, Francia, Europa Central, Países Bajos, etc.); situando el límite meridional entre unas condiciones y otras sobre los 38-40º N (en el centro de la Península Ibérica), cerca del límite septentrional al que llegan los aportes intensos de polvo desértico procedente del Sahara a la atmósfera de la Península Ibérica (Goudie y Middleton, 2001). La propuesta de dichos autores debe ser reconsiderada, al menos para la Península Ibérica, pues como se ha detallado en Cataluña, al norte de dicho límite, el evento 8200 cal. BP se muestra como un periodo especialmente seco que no húmedo.

Uno de los principales atractivos de la documentación paleoambiental del cambio climático abrupto del 8200 cal. BP, es la posibilidad de ponerlo en relación con el fenómeno arrítmico que se observa en el pro-

greso de la neolitización desde Oriente Próximo a Europa occidental (Guilaine, 2000, 2000-2001), y con los muchos hiatos confirmados en secuencias estratigráficas del Mediterráneo oriental y central para la transición Mesolítico-Neolítico (Manen y Sabatier, 2003; Bar-Yosef, 2004). En cualquier caso, no debemos olvidar la variabilidad regional, e incluso local, que la presencia de cazadores-recolectores podría haber implicado en la neolitización de Europa (Price, 2000; Rowley-Conwy, 2004).

En efecto, en ciertas áreas del sur de Europa ésta una cuestión aún abierta, el saber si poblaciones locales de recolectores vivían o no en ciertas áreas antes de la llegada del Neolítico. En la Península Ibérica éste no parece ser un mayor problema, pero tanto en Grecia como en Italia sí, pues en ambos países, a pesar del elevado número de excavaciones arqueológicas emprendidas, apenas se tiene constancia de yacimientos del Mesolítico final o reciente y generalmente existe un vacío reseñable entre los niveles mesolíticos y los del Neolítico antiguo (Ammerman y Biagi, 2003; Manen y Sabatier, 2003; Malone, 2003). Valgan como ejemplos los casos de las cuevas griegas del Cíclope y Theopetra, en las cuales hay una ausencia total de depósitos antrópicos entre 7389 ± 64 BP (8349-8040 cal. BP / 6399-6090 cal. BC) y 6834 ± 40 BP (7746-7588 cal. BP / 5796-5638 cal. BC) en el caso de la primera, y entre 7901 ± 29 BP (8786-8698 cal. BP / 6836-6648 cal. BC) y 6890 ± 43 BP (7832-7656 cal. BP / 5882-5706 cal. BC) en la segunda. Precisamente en esta última es muy evidente ese hiato entre la primera de las fechas correspondiente al Mesolítico más reciente y la segunda de comienzos del Neolítico (Biagi y Spataro, 2000).

Grosso modo, podríamos hablar de un claro hiato (¿sedimentario? ¿arqueológico?) entre ca. 8200 y 7700 cal. BP, muy manifiesto en el caso de Grecia e Italia, perceptible también en Creta y Chipre, en otras zonas del Adriático, Albania, Córcega, Sicilia y Cerdeña (Ammerman y Biagi, 2003) e incluso en el sur de Francia (Manen y Sabatier, 2003). Este hiato se concentra en el IX y el VIII milenios cal. BP, y el Neolítico antiguo (cerámica impresa) no se desarrollaría más que a partir del VI milenio cal. BC en el Mediterráneo occidental (desde Italia al sur de España).

Teniendo en cuenta los hechos antes descritos, y que paleoambientalmente el evento 8200 cal. BP ha podido ser confirmado en secuencias polínicas del litoral mediterráneo de la Península Ibérica, nuestro discurso debería llevarnos a poder responder a cuestiones vitales tales como su posible incidencia en el registro arqueológico peninsular; más teniendo en cuenta (a) la ausencia casi total de yacimientos mesolíticos en algunas regiones (Cataluña, Andalucía); y (b) el supuesto sincronismo entre aquéllos del Mesolítico final y los del Neolítico cardial que parece acontecer en otras (Valle medio del Ebro, Comunidad Valenciana). ¿Cuáles son las razones de tales diferencias? ¿Es real dicha contemporaneidad cronológica?

Al respecto de la primera cuestión, algunos autores han incidido en posibles inferencias de tipo tafonómico, sobre las estratigrafías de los yacimientos arqueológicos, que dificultarían sobremanera el análisis de la relaciones entre el final del Mesolítico y el Neolítico antiguo (Barton *et al.,* 2002). Sin embargo, Juan-Cabanilles y Martí (2002) consideran que la existencia de un hiato en dicha transición cultural es altamente problemática y no constatada por evidencia alguna, defendiendo una continuidad regional y un sincronismo cronológico entre el Mesolítico final y el Neolítico antiguo que se ajusta al modelo dual de la neolitización peninsular. El principal problema de tal propuesta es la inexistencia de yacimientos, mesolíticos y neolíticos, contemporáneos a lo largo del evento 8200 cal. BP (Manen y Sabaier, 2003; Turney y Brown, 2007), pues a nivel regional el Neolítico del litoral mediterráneo de la Península Ibérica no se inicia más que a partir del 7600 cal. BP, siendo sus yacimientos más significativos Cova de l'Or y Mas d'Is (Barton *et al.,* 2002); mientras que las fechas más recientes del Mesolítico parecen ser las del Abric de la Falguera (Barton *et al.,* 1990) de 7410 ± 70 BP (8376-8047 cal. BP / 6426-6097 cal. BC). Precisamente en este último abrigo, existe un hiato de unos 500 años entre las fechas radiocarbónicas del Mesolítico final y el primer Neolítico (Barton *et al.,* 2004), lo que demuestra una incidencia semejante del evento 8200 cal. BP respecto a lo ya citado en otras zonas del Mediterráneo occidental o central.

En algunos yacimientos aragoneses o levantinos es frecuente que a un nivel mesolítico le siga estratigráficamente otro neolítico, incluso sin solución de continuidad estratigráfica (Utrilla *et al.,* 1998); aunque exceptuando quizá el caso de Forcas II, en el resto son frecuentes los hiatos estratigráficos entre dichos niveles. La síntesis cronológica realizada por Manen y Sabatier (2003) demuestra cómo el cómputo de fechas radiocarbónicas conocidas para yacimientos mesolíticos del sureste de Francia, Andorra y España, se concentran todas ellas en el intervalo 8550-7950 cal. BP (6600-6000 cal. BC); mientras que las correspondientes al Neolítico cardial lo hacen entre 7750-7150 cal. BP (5800-5200 cal. BC). Lo mismo puede extraerse del repertorio de fechas C14, concernientes a la transición Mesolítico-Neolítico antiguo, recopilado por Utrilla *et al.* (1998) para la vertiente sur de los Pirineos. No hay por tanto solapamiento de fechas entre ambos estados culturales. Cabría pensar entonces que un evento climático abrupto de este calibre de alguna manera habría tenido que incidir en aquellas comunidades mesolíticas todavía no neolitizadas. En particular, un régimen de fuegos más elevado bajo control climático y la consiguiente apertura de las formaciones forestales, como parece denotarse a lo largo del evento 8200 cal. BP, podría haber supuesto una oportunidad única para los primeros colonos neolíticos para favorecer su expansión agrícola y pastoril (Dubar y Roscian, 2001).

En conclusión, para resolver las incógnitas planteadas en este trabajo en el litoral mediterráneo español, más teniendo en cuenta el efecto acumulativo sobre los ecosistemas que suponen tanto los cambios climáticos abruptos como la antropización, es necesario adoptar obligatoriamente una visión tafonómica del registro arqueológico (Barton *et al.,* 2004), que nos lleve a entender posibles eventos geomorfológicos sobre la estratigrafía de determinados yacimientos arqueológicos, especialmente cuevas, a elucidar los procesos de sedimentación ocurridos, su génesis y naturaleza; y, finalmente, trabajar concienzudamente con un registro cronológico y paleoambiental cada vez más amplio pero no suficientemente detallado para la transición Mesolítico-Neolítico.

La definición cronocultural del Mesolítico reciente en el Mediterráneo occidental es una cuestión aún no resuelta (Manen y Sabatier, 2003), pero cuya resolución resulta indispensable a cualquier discusión o modelo de neolitización que se postule. Particularmente debemos fijar nuestra atención en obtener cronologías precisas del proceso, para lo cual una elección adecuada del material a datar y de su contexto son premisas obligatorias: muchos resultados considerados aberrantes se deben a cuestiones de tipo tafonómico relacionadas con la conservación diferencial del material datado e incluso de su propia naturaleza, con alteraciones post-deposicionales, etc. En cuanto al registro polínico, un hecho clave es realizar estudios a alta resolución, los únicos capaces de documentar un cambio climático abrupto, de corto recorrido cronológico, como el evento 8200 cal. BP; y estudiar registros naturales, como turberas y lagos, cuyas secuencias son susceptibles de una mayor continuidad diacrónica.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEY, R.B.; MAYEWSKI, P.A.; SOWERS, T.; STUIVER, M.; TAYLOR, K.C. y CLARK, P.U. 1997: "Holocene climate instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago". *Geology* 25: 483-486.

AMMERMAN, A.J. y BIAGI, P. 2003: *The Widening Harvest. The Neolithic transition in Europe: looking back, looking forward.* Archaeological Institute of America. Boston.

BAR-YOSEF, O. 2004: "Guest editorial. East to West: agriculture origins and dispersals into Europe". *Current Anthropology* 45 (Supplement): 1-3.

BARBER, D.C.; DYKE, A.; HILLARIE-MARCEL, C.; JENNINGS, A.E.; ANDREWS, J.T.; KERWIN, M.W.; BILODEAU, G.; MCNEELY, R.; SOUTHON, J.; MOREHEAD, M.D. y GAGNON, J.M. 1999: "Forcing of the cold event of 8200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes". *Nature* 400: 344-348.

BARTON, C.M.; BERNABEU, J.; AURA, J.E.; GARCÍA, O. y LA ROCA, N. 2002 : "Dynamic landscapes, artifact taphonomy, and landuse modeling in the Western Mediterranean". *Geoarchaeology* 17 (2): 155-190.

BARTON, C.M.; BERNABEU, J.; AURA, J.E.; GARCÍA, O.; SCHMICH, S. y MOLINA, L. 2004 : "Long-Term socioecology and contingent landscapes". *Journal of Archaeological Method and Theory* 11 (3): 253-295.

BARTON, C.M.; RUBIO, F.; MIKSICEK, C.A. y DONAHUE, D.J. 1990: "Domestic olive". *Nature* 346: 518-519.

BIAGI, P. y SPATARO, M. 2000: "Plotting the evidence: some aspects of the radiocarbon chronology of the Mesolithic-Neolithic transition in the Mediteranean Basin". *Rivista atti della Societá per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli-Venezia-Giulia* 22: 15-54.

BOND, G.; SHOWERS, W.; CHESEBY, M.; LOTTI, R.; ALMASI, P.; DEMENOCAL, P.; PRIORE, P.; CULLEN, H.; HAJDAS, I. y BONANI, G. 1997: "A pervasive millenial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates". *Science* 278: 1257-1266.

CARRIÓN, J.S. 2002: "Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe". *Quaternary Science Reviews* 21: 2047-2066.

CARRIÓN, J.S.; ANDRADE, A.; BENNETT, K.D.; NAVARRO, C. y MUNUERA, M. 2001a: "Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain". *The Holocene* 11 (6): 635-653.

CARRIÓN, J.S.; MUNUERA, M.; DUPRÉ, M. y ANDRADE, A. 2001b: "Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene". *Journal of Ecology* 89: 783-797.

CARRIÓN, J.S. y VAN GEEL, B. 1999: "Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession". *Review of Palaeobotany and Palynology* 106: 209-236.

DAVIS, B.A.S. y STEVENSON, A.C. 2007: "The 8.2 ka event and Early-Mid Holocene forests, fires and flooding in the Central Ebro Desert, NE Spain". *Quaternary Science Reviews* 26: 1695-1712.

DEAN, W.E.; FORESTER, R.M. y BRADBURY, J.P. 2002: "Early Holocene change in atmospheric circulation in the Northern Great Plains: an upstream view of the 8.2 ka cold event". *Quaternary Science Reviews* 21: 1763-1775.

DUBAR, M. y ROSCIAN, S. 2001: "Scénario climatique holocène et développement de l'agropastoralisme Néolithique en Provence et en Ligurie occidentale". *Bulletín de la Société préhistorique française* 98 (3): 391-398.

FABIÁN GARCÍA, J.; BLANCO GONZÁLEZ, A. y LÓPEZ SÁEZ, J.A. 2006: "La transición Calcolítico-Bronce Antiguo desde una perspectiva arqueológica y ambiental: el Valle Amblés (Ávila) como referencia". *Arqueología Espacial* 26: 37-56.

GASSE, F. y VAN CAMPO, E. 1994: "Abrupt post-glacial events in West Asia and North Africa". *Earth and Planetary Science Letters* 126: 435-456.

GOUDIE, A.S. y MIDDLETON, N.J. 2001: "Saharan dust storms nature and consequences". *Herat Science Reviews* 56: 179-204.

GUILAINE, J. 2000: *Premiers paysans du monde, naissance des agricultures. Séminaire du Collège de France, Avant-propos.* Éditions Errance. Paris.

GUILAINE, J. 2000-2001: “La diffusion de l’agriculture en Europe : une hypothèse arythmique”. *Zephyrus* 53-54: 267-272.

GUIOT, J. y CHEDDADI, R. 2004: “Variabilité des écosystèmes terrestres et du climat sur un cycle glaciaire-interglaciaire”. *Comptes Rendus Geoscience* 336: 667-675.

HEIRI, O.; TINNER, W. y LOTTER, A.F. 2004: “Evidence for cooler European summers during periods of changing meltwater flux to the North Atlantic”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101 (43): 15285-15288.

HUGHEN, K.A.; OVERPECK, J.T.; PEWTERSON, L.C. y TRUMBORE, S. 1996: “Rapid climate changes in the tropical Atlantic Region during the last deglaciation”. *Nature* 366: 552-554.

JUAN-CABANILLES, J. y MARTÍ, B. 2002: “Poblamiento y procesos culturales en la Península Ibérica del VII al V milenio A.C. (8000-5000 BP). Una cartografía de la neolitización. En E. Badal; J. Bernabeu y B. Martí (eds.): *El paisaje neolítico mediterráneo.* Saguntum-Extra 5. Universitàt de Valencia, València: 45-77.

KLITGAARD-KRISTENSEN, D.; SEJRUB, H.P.; HAFLIDASON, H.; JOHNSEM, S. y SPURK, M. 1998: “A regional 8200 cal. yr BP cooling event in northwest Europe induced by final stages of Laurentide ice-sheet deglaciation?” *Journal of Quaternary Science* 13: 165-169.

KUREK, J.; CWYNAR, L.; SPEAR, R.W. y SCHULZ, M. 2002: “A high resolution Holocene climate record from the White Mountains of Eastern North America”. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 34: 49.

LÓPEZ GARCÍA, P. 1982: “Diagrama polínico del yacimiento de la Cueva del Nacimiento (Pontones, Jaén)”. En J. Bousquet (ed.): *Le Neolithique ancien méditerranéen. Actes du Colloque International de Préhistoire, Montpellier 1981. Archéologie en Languedoc, nº spécial.* Montpellier: 250-251.

LÓPEZ SÁEZ, J.A. y BLANCO GONZÁLEZ, A. 2005: “La mutación Bronce Final/Primer Hierro en el suroeste de la Cuenca del Duero (provincia de Ávila): ¿cambio ecológico y social?”. En A. Blanco; C. Cancelo y A. Esparza (eds.): *Bronce Final y Edad del Hierro en la Península Ibérica.* Colección Aquilafuente 86. Ediciones Universidad de Salamanca. Salamanca: 229-250.

LÓPEZ SÁEZ, J.A.; LÓPEZ GARCÍA, P. y CORTÉS SÁNCHEZ, M. 2007: “Paleovegetación del Cuaternario reciente: Estudio arqueopalinológico”. En M. Cortés Sánchez (ed.): *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia cronocultural y paleoambiental del Cuaternario reciente en la Bahía de Málaga.* Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, Junta de Andalucía, Universidad de Málaga, Fundación Cueva de Nerja y Fundación Obra Social de Unicaja. Málaga: 139-156.

LÓPEZ SÁEZ, J.A.; LÓPEZ GARCÍA, P. y LÓPEZ MERINO, L. 2006: “La transición Mesolítico-Neolítico en el Valle Medio del Ebro y en el Prepirineo aragonés desde una perspectiva paleoambiental: dinámica de la antropización y origen de la agricultura”. *Revista Iberoamericana de Historia* 1: 4-11.

MACDERMOTT, F.; MATTEY, D.P.; OEX, U.K. y HAWKESWORTH, C.J. 2001: “The impact of the ‘8200 year’ cooling event on the eastern Atlantic margin: evidence from an oxygene isotope speleothem record from S.W. Ireland”. *Geological Association of Canada–Mineralogical Association of Canada Joint Annual Meeting,* St. John’s, Newsfoundland Abstracts 26: 99.

MAGNY, M.; BÉGEOT, C.; GUIOT, J. y PEYRON, O. 2003: “Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases”. *Quaternary Science Reviews* 22: 1589-1596.

MALONE, C. 2003: “The Italian Neolithic: a synthesis of research”. *Journal of World Prehistory* 17 (3): 235-312.

MANEN, C. y SABATIER, P. 2003: “Chronique radiocarbone de la néolithisation en Méditerranée nord-occidentale”. *Bulletín de la Société préhistorique française* 100 (3): 479- 504.

MUSCHELER, R.; BEER, J. y VONMOOS, M. 2004: “Causes and timing of the 8200 yr BP event inferred from the comparison of the GRIP ^{10}Be and the tree ring Δ ^{14}C record”. *Quaternary Science Reviews* 23: 2101-2111.

PANTALEÓN, J.; ROURE, J.M.; YLL, E.I. y PÉREZ-OBIOL, R. 1996: “Dinámica del paisaje vegetal durante el Neolítico en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e Islas Baleares”. En I Congrés del Neolític a la Península Ibérica. Gavà-Bellaterra, 1995. *Rubricatum* 1 (1). Gavà-Bellaterra: 29-34.

PANTALEÓN, J.; YLL, R.; PÉREZ-OBIOL, R. y ROURE, J.M. 2003: “Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain)”. *The Holocene* 13 (1): 109-119.

PRICE, T.D. 2000: *Europe’s first farmers.* Cambridge University Press, Cambridge.

RIERA, S. 1993: “Changements de la composition forestière dans la Plaine de Barcelone pendant l’Holocène (Littoral Méditerranéen de la Péninsule Ibérique) ”. *Palynosciences* 2: 133-146.

ROWLEY-CONWY, P. 2004: “How the west was lost”. *Current Anthropology* 45 (Supplement): 83-113.

TINNER, W. y LOTTER, A.F. 2001: “Central European vegetation response to abrup climate change at 8.2 ka”. *Geology* 29 (6): 551-554.

TURNEY, C.S.M. y BROWN, H. 2007: “Catastrophic early Holocene sea level rise, human migration and the Neolithic transition in Europe”. *Quaternary Science Reviews* 26: 2036- 2041.

TWISS, K.C. 2007: “The Neolithic of the Southern Levant”. *Evolutionary Anthropology* 16: 24- 35.

UTRILLA, P.; CAVA, A.; ALDAY, A.; BALDELLOU; V.; BARANDIARÁN, I.; MAZO, C. y MONTES, L. 1998: “Le passage du Mésolithique au Néolithique ancien dans le Bassin de l’Ebre (Espagne) d’après les datations C14”. *Préhistoire Européenne* 12: 171-194.

VON GRAFENSTEIN, U.; ERLENKEUSER, H.; MULLER, J.; JOUZEL, J. y JOHNSEN, S. 1998: “The cold event 8200 years ago documented in oxygene isotope records of precipitation in Europe and Greenland”. *Climate Dynamics* 14: 73-81.

WIERSMA, A.P. y RENSSEN, H. 2006: “Model-data comparison for the 8.2 ka BP event: confirmation of a forcing mechanism by catastrophic drainage of Laurentide Lakes”. *Quaternary Science Reviews* 25: 63-88.

ESTUDIO GEOARQUEOLÓGICO DE LA VEGA DE SEVILLA. RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA DEL SECTOR INTERNO DEL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR DURANTE EL HOLOCENO

GEOARCHAEOLOGICAL STUDY OF THE VEGA DE SEVILLA. PALAEOGRAPHIC RECONSTRUCTION OF THE INTERNAL SECTOR OF THE ESTUARY OF THE GUADALQUIVIR RIVER DURING THE HOLOCENEE

F. BORJA[1], M. HUNT[2], J.L. UBERA[3], C. ZAZO[4], C.J. DABRIO[5], J.L. GOY[6], M.A. BARRAL[1], Y. LLERGO[3], C. BORJA[7]

(1) Departamento de Historia II, Facultad Humanidades, Universidad de Huelva, Fuerzas Armadas, s/n. 21071 Huelva. fborja@uhu.es; mabarral@uhu.es
(2) Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. María de Padilla, s/n. 41003 Sevilla. mhunt@us.es
(3) Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales. 14071 Córdoba. bv1ubjij@uco.es
(4) Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC, C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. mcnzc65@mncn.csic.es
(5) Departamento de Estratigrafía (UCM)-I.G.E. (CSIC), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. dabrio@geo.ucm.es
(6) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca. joselgoy@usal.es
(7) Departamento de Geografía Física y A.G.R. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, María de Padilla, s/n. 41004 Sevilla. cesarborja@us.es

RESUMEN

Se estudia el relleno sedimentario del antiguo estuario del Guadalquivir en el entorno de la ciudad de Sevilla. Las muestras sedimentarias proceden de la excavación arqueológica realizada y también de dos sondeos rotatorios llevados a cabo en la calle San Fernando, localizada al sur de la ciudad histórica. Los sondeos alcanzaron una profundidad de 18 m, alcanzando la formación geológica de Margas Azules (Mioceno Reciente). Metodológicamente se han combinado los datos de sedimentología, palinología (22 muestras distribuidas entre los 2 y 12,35 m de profundidad) y radiocarbono (6 muestras de entre 4 y 12 m de profundidad), junto con el análisis del registro arqueológico. Los resultados permiten establecer una secuencia paleogeográfica caracterizada por tres fases principales: episodio de transgresión marina (Holoceno Antiguo-Medio), episodio aluvial con una progresiva influencia antrópica final (Holoceno Medio-Final) y episodio de ocupación urbana con influencia cíclica aluvial (Holoceno Reciente).

ABSTRACT

The internal filling area of the Guadalquivir estuary, near Seville, has been studied. The sediment samples come from the archaeological dig and also from two cores drilled in San Fernando Street, located to the South of the historical town of Sevilla. The drillings reached up to 18 m in depth, to the geologic formation of Margas Azules (Late Miocene). Methodologically, sedimentology, palynology (twenty-two samples distributed between 2 m and 12,35 m in depth) and radiocarbon data (six samples from between 4 m and

12 m in depth) have been used, together with the analysis of the archaeological record. The results allow the establishment of a palaeogeographic sequence characterised by three main phases: marine transgression episode (Lower-Middle Holocene); alluvial episode with final progressive human influence (Middle-Recent Holocene) and urban occupation episode with cyclic alluvial influence (Recent Holocene).

Palabras clave: Estuario del Guadalquivir, Palinología, C-14, Holoceno, Geoarqueología, Sevilla.

Key words: *Guadalquivir estuary, Palynology, C14, Holocene, Geoarchaeology, Seville (Spain).*

I. INTRODUCCIÓN

De las desembocaduras de los grandes colectores que vierten sus aguas al Golfo de Cádiz, la del Guadalquivir es, sin duda, la que presenta la evolución paleogeográfica más compleja durante el Pleistoceno superior y el Holoceno. Mientras que para las antiguas ensenadas litorales del Tinto-Odiel, en Huelva, o del Tagarete, Palmones o Guadarranque[1], en Cádiz, hoy día puede plantearse una reconstrucción paleogeográfica lo suficientemente detallada, no ocurre lo mismo en el caso del antiguo estuario del Guadalquivir, cuyo registro aún presenta algunas incógnitas por despejar (Lario, 1996; Rodríguez *et al.,* 1996; Dabrio *et al.,* 1999; 2000; Zazo *et al.,* 1999; Luque, 2002; Zazo *et al.,* en prensa).

En general, se conoce que los materiales gruesos de origen fluvial que se acomodan en los fondos de estos estuarios corresponden al último gran episodio glacio-eustático de bajo nivel marino, cuando, hace aproximadamente 21.000 años BP, éste se encontraba unos 120 m por debajo de la rasante actual y la orilla a unos 14 km mar adentro respecto de la actual. La primera influencia marina registrada por los rellenos del litoral del SO peninsular se documenta durante el episodio transgresivo que sucede al recalentamiento climático del tránsito Pleistoceno Superior-Holoceno, constatándose en torno a 20-30 m de profundidad, hace unos 11.000 años. El ascenso del nivel del mar durante el Holoceno alcanza su máximo transgresivo en torno a los 6.500 – 6.000 años BP A partir de los *ca.* 4.500 años BP se asiste a un cambio del patrón de relleno de los estuarios atlánticos, pasándose progresivamente del predominio de los procesos de acumulación vertical (agradación sedimentaria) al de los procesos de acumulación horizontal (progradación sedimentaria). Es entonces cuando los aportes fluviales comienzan a ganar protagonismo en la dinámica morfo-sedimentaria de las desembocaduras, favoreciendo el desarrollo de planicies de marea y, con ello, la incipiente formación de cordones arenosos en la frontera con el mar abierto. Hace unos 2.400 años el afianzamiento de estos procesos de progradación sedimentaria propiciará la generalización de los ambientes de marismas mareales, así como el rápido crecimiento de las barras de arena (flechas litorales). Desde entonces se asiste, particularmente en el caso de la desembocadura del Guadalquivir, a un gradual predominio de las condiciones aluviales en sus sectores más internos, así como a una progresiva incidencia antrópica en la caracterización del relleno, la cual es tanto más importante y más temprana cuanto más al interior del paleoestuario se esté situado.

1. Para la evolución de los pequeños colectores del litoral la provincia de Cádiz, véase la tesis doctoral de: Luque, L. (2002). *Cambios en los paleoambientes costeros del sur de la Península Ibérica (España) durante el Holoceno.* Universidad Complutense de Madrid. 343 págs + anexos. Inédita.

Este es el caso del sector analizado en el presente estudio, donde se plantea la secuencia general del relleno del antiguo estuario del Guadalquivir en el entorno de la ciudad de Sevilla[2] (Fig. 1), estableciendo las bases de su evolución paleogeográfica desde un enfoque geoarqueológico (Borja, 2007; Borja y Barral, 2007; Barral y Borja, 2007).

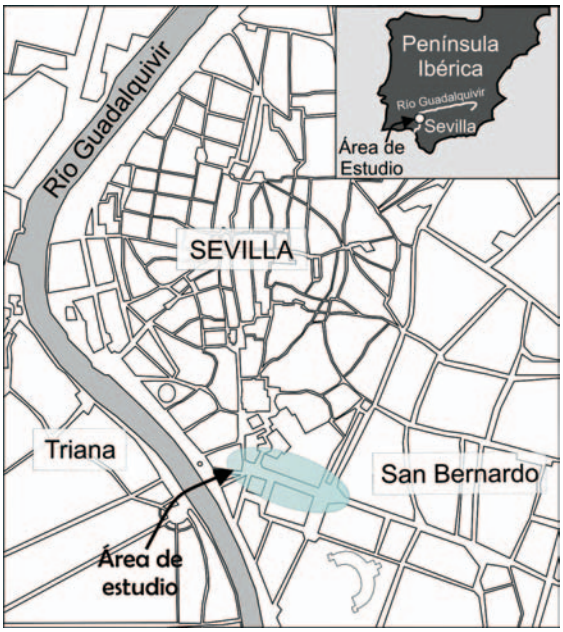


Figura 1. Localización de la Calle San Fernando, al sur del casco histórico de la ciudad de Sevilla.

II. ÁREA DE ESTUDIO, MATERIAL Y MÉTODO

El material utilizado en la presente investigación procede, fundamentalmente, de dos sondeos mecánicos rotatorios practicados en la calle San Fernando (Fig. 2), al sur del casco histórico de la ciudad, en plena llanura aluvial del Guadalquivir. Dichas perforaciones se enmarcaron en el contexto de una intervención arqueológica llevada a cabo entre marzo y agosto de 2004, con ocasión de la construcción de una de las estaciones de la Línea 1 del Metro de Sevilla.

Las perforaciones se realizaron separadas entre sí unos 200 m *(S-05 Universidad,* al Este de la citada calle sevillana, y *S-PJ Puerta Jerez,* al oste de la misma), llegándose en la primera de ellas hasta la profundidad de 19 m bajo la rasante actual del pavimento situado a +8 m (todas las cotas se dan en referencias absolutas). Por su parte, en la denominada *Intervención Arqueológica Preventiva "Estación Puerta de Jerez"*[3] (Fig. 3) sólo se alcanzó una cota de excavación de +4,40 m (Pozo *et al.,* 2006).

---

2. Véanse las tesis doctorales de Borja, F. (1992): *Pleistoceno reciente, Holoceno y períodos históricos del SW de Andalucía. Paleogeografía de medios litorales y fluvio-litorales de los últimos 30.000 años.* Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla (Inéd.), 469 págs; y la de Barral, M.A. (2004): *Estudio geoarqueológico de la ciudad de Sevilla. Antropización y Reconstrucción Paleogeográfica durante el Holoceno reciente (últimos 2.500 años).* Tesis Doctoral, Universidad de Huelva. (Inéd.), 527 págs. Así como el trabajo de síntesis de esta última: Borja, F. y Barral, M.A. (2005). "Evolución histórica de la Vega de Sevilla". En: *La Catedral en la ciudad (I). Sevilla de Astarté a San Isidoro* (A. Jiménez, ed.). Aula Hernán Ruiz. Sevilla. Inédito, págs: 5-36.

3. Esta excavación se planificó en tres fases, abarcando un rectángulo de 21 x 100 m cuya profundidad habría alcanzado los -16 m bajo la rasante actual de la calle (-8 m en cota absoluta). Distintas razones técnicas hicieron que el proyecto de construcción de la estación del metro se abandonara, concluyéndose la actuación arqueológica en la primera Fase. Con lo que sólo se estudió la parte Sur de la calle (extramuros de la muralla islámica) hasta una cota absoluta de +4.40 m. De la intervención se redactó un informe técnico (Hunt, M. 2004. *Memoria Preliminar. Fase I-A. Intervención Arqueológica Preventiva "Estación Puerta de Jerez". Calle San Fernando, Sevilla),* en el que se incorporó una primera valoración geoarqueológica sobre la zona.

Figura 2. Localización de los sondeos geotécnicos (S-PJ y S-05) en la Calle San Fernando (Sevilla).

Figura 3. Vista aérea de la excavación arqueológica en la Calle San Fernando.

Desde el punto de vista metodológico, en este trabajo se ha combinado el estudio sedimentológico del conjunto del relleno con el análisis del registro polínico procedente de 22 muestras repartidas entre +6,57 y -4,25 m. Asimismo, se ha incluido el estudio del registro arqueológico, el cual ha sido valorado considerando su doble procedencia: el tramo inferior, alojado entre -0,30 y +4,40 m, se compone de los materiales rescatados en los testigos geotécnicos (Fig. 4), mientras que el tramo superior (entre +4,40 y +8 m) ha sido obtenido de forma sistemática en el transcurso de la mencionada excavación arqueológica. Adicionalmente, se han obtenido seis dataciones ^{14}C que, localizadas entre +2,05 y -4,35 m, han arrojado edades comprendidas entre los *ca.* 8.580 cal. BP y los *ca.* 2.890 cal. BP (Tabla 1), las cuales han sido calibradas a una gama de 2σ mediante *Calib Radiocarbon Calibration Program* (Stuiver y Reimer, 1993; Stuiver y Braziunas, 1993).

Figura 4. Testigo recuperado hasta -6 m por el sondeo geotécnico S-5.

Laboratorio Código GX	Campo Código	Material	C14 a. B.P.	Error ±	Cal. BP 2σ
32036	S05-D1	mat. org.	2800	50	2780-3007
32037	S05-D2	mat. org.	4750	50	5446-5589
32038	S05-D3	carbón	5230	40	5912-6029
32039	S05-D4	mat. org.	6880	60	7606-7842
32048	SPJ-4	mat. org.	7800	60	8426-8729
32049	SPJ-5	mat. org.	7060	60	7757-8000

Tabla 1. Relación de Muestras ^{14}C y resultados (GX: Geochron Laboratories, MA, USA).

III. EL REGISTRO SEDIMENTARIO

El sondeo S-05 (Universidad) arranca del contacto con la formación de Margas Azules, el cual se localiza a -11 m de cota absoluta. Estas arcillas marinas quedan superpuestas por un banco de gravas de matriz heterogénea cuyo techo se emplaza a -5,5 m. Por encima y hasta 0 m aparecen depósitos de arcillas grises muy ricas en componentes orgánicos (lechos de vegetación, restos de caparazones de gasterópodos y bivalvos de pequeño tamaño, restos carbonosos...). Entre 0 m y +2 m se localiza un depósito de limos arcillosos pardos con concreciones carbonatadas y lechos de restos orgánicos cuyo techo señala una importante discontinuidad en el registro, incorporando los primeros restos cerámicos. Por arriba, entre +2 m y + 8m, y culminando la secuencia, aparecen sendas unidades limo-arcillosas, con algo de arena en la superior, las cuales acogen un importante registro arqueológico que va desde época preromana hasta las fases Moderna y Contemporánea.

El sondeo S-PJ (Puerta Jerez) sólo profundizó hasta tocar el banco de gravas (-6 m). Entre esta cota y -1 m, aproximadamente, se reconocen los depósitos de arcillas grises ricas en elementos orgánicos ya descritas en S-05. Entre -1 m y +2 m se emplazan asimismo los limos arcillosos pardos carbonatados con restos cerámicos. Culminando la serie, y al igual que ocurría en el caso anterior, este sondeo presenta una sucesión de dos cuerpos aluviales de matriz predominantemente limo-arcillosa, cuyo registro arqueológico barre desde época romana republicana hasta la actualidad, correspondiendo el mayor protagonismo a las fases romana imperial (siglos I-IV d.C.) e islámica (siglos XI-XII d.C.).

IV. EL REGISTRO POLÍNICO

En las 22 muestras estudiadas se han identificado 57 tipos polínicos, de los que 25 presentan una concentración superior al 1%, siendo estos los representados en el diagrama polínico (Fig. 5). En esta gráfica se aprecian claramente dos zonas bien diferenciadas por su vegetación. Las muestras más profundas, G1 a G10, proceden del material obtenido mediante sondeos y muestran una vegetación poco antropizada, con abundantes elementos higrófitos (esporas monoletas de *Isoetes* y *Cyperus),* con una buena representación del estrato arbóreo (ver AN/NAP), especialmente de *Quercus* tipo *Q. coccifera.* Este tipo de vegetación se ha asociado con un ámbito de llanura inundada temporalmente.

La zona superior se corresponde con las muestras obtenidas durante la excavación arqueológica (M2 a M6, y M8 a M10)[4]. Esta etapa se caracteriza por una baja proporción de elementos arbóreos (ver AP/NAP) donde se incrementa la presencia de *Olea.* Es de destacar la gran abundancia de tipos polínicos de plantas nitrófilas (Ligulifloras, Tubifloras, Brassicaceae, *Chenopodium),* lo que nos informa de una vegetación de ambientes más secos y fuertemente antropizada, así como de la introducción de plantas cultivadas (Olea, Cerealia) o asociadas a cultivos (Poaceae, Plantago, Brassicaceae). Este conjunto de especies se ha vinculado con un medio de herbazal nitrófilo.

Entre estas dos grandes zonas se detectan otras dos unidades de muy diferente caracterización: la primera presenta características de herbazal ruderal (M1, G10 y G11), lo que supondría un episodio de tránsito a la zona superior; mientras que la segunda denota un ambiente con un fuerte carácter higrófito (G8 y M7) que, por su elevada concentración en esporas monoletas de *Isoetes* y su baja proporción en elementos nitrófilos, se asociaría con un medio encharcado permanentemente, suponiendo el episodio de máxima inundación en la cola del estuario.

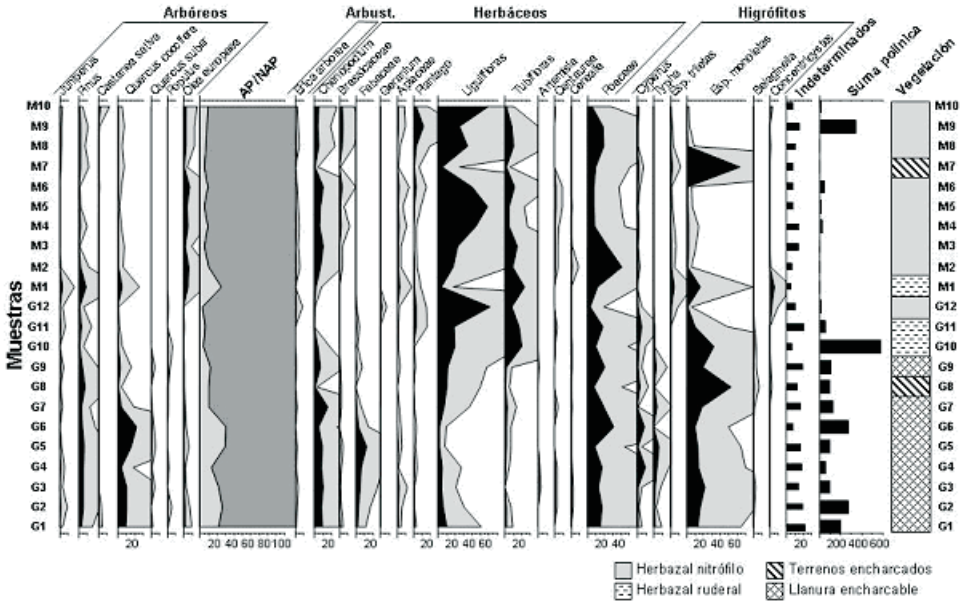


Figura 5. Diagrama polínico con muestras procedentes del Sondeo S-05 y la excavación arqueológica de la Calle San Fernando, Sevilla.

4. Al respecto de M7 hay que aclarar que, aunque esta muestra se ha ubicado en el tramo superior de la columna, su posición originaria en el relleno debería situarse en torno G8. Arqueológicamente se ha podido comprobar que corresponde a una estratigrafía invertida: materiales más profundos removilizados con ocasión de la construcción de la barbacana islámica, a cuya fosa de cimentación se asocia.

V. EL REGISTRO ARQUEOLÓGICO

El registro arqueológico aportado por la excavación de la Calle San Fernando comprende desde los +8.0 a los +4.40 m, componiendo una compleja secuencia en la que se incluyen unidades construidas y unidades deposicionales, contextualizadas en diferentes periodos históricos y fases de ocupación que van desde el siglo I d.C. hasta el XX d.C (Fig. 6). A grandes rasgos, el periodo más antiguo documentado estratigráficamente es el romano (+4.40 m y +5.40 m), del que se constatan infraestructuras de tipo habitacional y viario del s. I d.C., así como de carácter funerario pertenecientes al periodo que va desde el siglo II d.C. al IV d.C. Estos restos se presentan muy afectados por intrusiones de épocas posteriores (especialmente por la instalación de la muralla y la barbacana islámicas), y no fueron excavados en su totalidad. Hasta el siglo XI d.C. acontece en el área una etapa de abandono, caracterizada por la incorporación a la secuencia de depósitos aluviales limo-arenosos. Es en el siglo XI d.C. cuando se documenta una nueva fase de construcción de viviendas, a una cota aproximada de +6.75 m. Poco más tarde, este primer hábitat islámico se verá destruido parcialmente por la construcción de la muralla almohade. Entre ese nivel ocupacional y la cota de la rasante de calle (+8.00 m), se suceden niveles constructivos y de carácter deposicional de épocas Moderna y Contemporánea que terminan embalando los restos de las defensas medievales.

Figura 6. Detalle de la secuencia arqueológica en la Calle San Fernando, Sevilla.

La documentación de la secuencia aportada por la excavación se complementó en profundidad mediante el estudio del material arqueológico recogido en los testigos de los sondeos, donde aparecieron restos cerámicos a cotas de -0,30 m. Entre esta marca y los +0.20 m se recuperaron dos fragmentos correspondientes a ánforas púnicas, datables entre los siglos V y II a.C. Por encima, de +2,00 a +2,60 m, destaca la presencia de un fragmento de cerámica Campaniense, con una cronología que podría ir de fines del s. II a principios del s. I a.C. El tramo del sondeo ubicado entre +2,60 m y la cota a la que profundizó la excavación arqueológica (+4.40 m), quedó definida por los siguientes restos:

- De +2.60 a +3.20 m: borde tipo “turdetano”, siglos III-II a.C., y 8 fragmentos de “paredes finas ahumadas” del s. I d.C., junto a elementos constructivos (estuco, ímbrice).
- De +3.20 a +3.80 m: 8 fragmentos de “paredes finas ahumadas” del siglo I d.C. y 3 fragmentos “paredes finas africanas”, de la 2ª mitad del siglo I d.C., junto a fragmentos de estuco.
- De +3.80 a +4.00 m: fragmento de “paredes finas ahumadas” del siglo I d.C. y fragmentos de estuco.
- De +4.00 a +4.40 m: fragmento de “sigillata sudgálica”, fechada entre los años 25 y 110 d.C., así como varios fragmentos indefinidos de cerámica de cocina y tesela de pasta vítrea.

VI. SECUENCIA GEOARQUEOLÓGICA Y RECONSTRUCCIÓN PALEOGEOGRÁFICA

El estudio realizado en el ámbito urbano de la Vega de Sevilla (entorno de la Calle San Fernando) muestra un registro sedimentario cuya base está constituida por la formación de Margas Azules del Messiniense Superior[5] (Fig. 7). Suprayacente a estas arcillas marinas y en franca discontinuidad estratigráfica se acomoda un banco de gravas fluviales de varios metros de espesor (-10 a -5,5 m), cuya cronología podría ubicarse, a tenor de las fechas aportadas por los materiales que le suceden en la columna y según la caracterización regional, en el transito Pleistoceno Superior-Holoceno (?).

A partir de este punto y hasta casi -1 m de cota es cuando se asiste al afianzamiento del medio litoral plenamente estuarino (Holoceno Inferior), el cual arranca con un primer episodio de arenas de tonalidad negruzca, aún sin datar, que dan paso a varios metros de arcillas grisáceas ricas en restos orgánicos sobre las que se establece el tránsito de unos ambientes salobres encharcables estacionalmente (G1 a

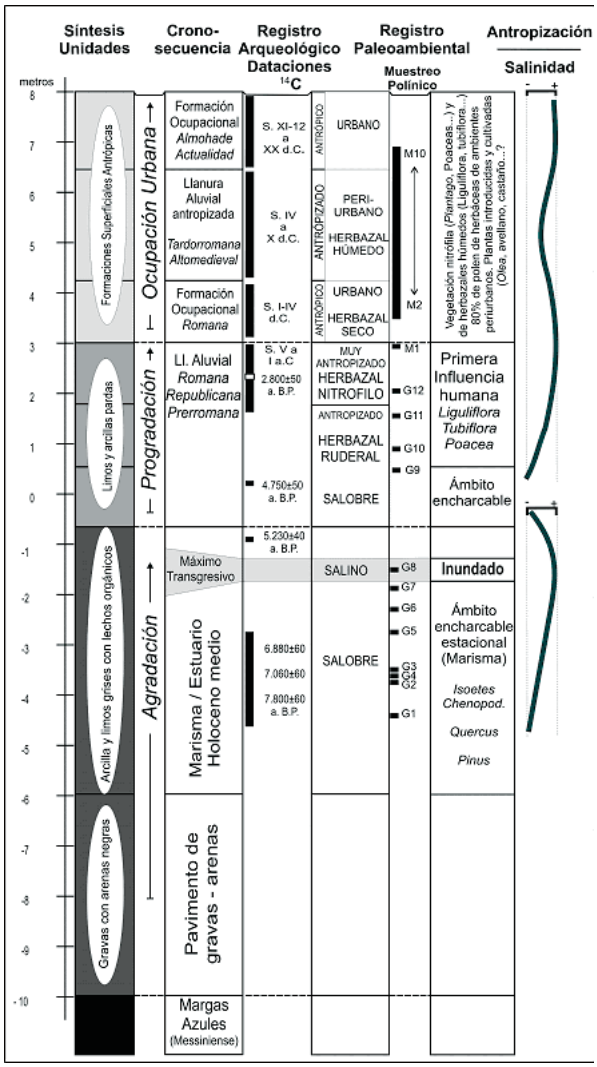


Figura 7. Reconstrucción paleogeográfica del sector interno del estuario del Guadalquivir a partir de la intervención en la Calle San Fernando, Sevilla.

5. Datación realizada en base al registro de microfauna. Ver tesis doctoral de F. Borja (referencia en nota 2).

G7), a otros salinos e inundados de forma permanente (G8). Las cronologías registradas para este episodio van desde *ca.* 8.580 cal. BP hasta *ca.* 5.970 cal. BP, detectándose en él un evento de máximo avance marino con cierta anterioridad a esta última fecha.

Por encima (de -1 a +3 m), la secuencia se caracterizaría por la presencia de sedimentos limo-arcillosos pardos asociados a un medio aireado de transición hacia una progresiva presión humana sobre el entorno. El impacto antrópico se hace cada vez más presente conforme avanza esta fase (Liguliflora, Tubiflora, Poaceas…), la cual se extiende desde mediados del IV Mileno a.C. *(ca.* 5.570 cal. BP) hasta los siglos V a II-I a.C.[6] Esta discontinuidad denota el tránsito de un ambiente salobre *encharcable* (G9) a otro con predominio de la morfodinámica aluvial y desarrollo de depósitos a cuyo techo aparecen concreciones carbonatadas *(Llanura aluvial Prerromana a Romana Republicana).* Al mismo tiempo se registra una importante caída de polen arbóreo *(Quercus, Pinus…),* así como el paso de un herbazal de facies ruderales a otro de carácter netamente nitrófilo (G10 a M1). Estos datos se ven reforzados por lo expuesto por Martín-Consuegra *et al.* (1998), quienes argumentan en este mismo sentido para un sector cercano asimismo incluido en la Vega urbana de Sevilla (sector sur del Barrio de San Bernardo) (Borja y Borja, 2007).

Culminando la secuencia, entre +3 y +8 m, se asiste a la expansión urbana sobre el área de estudio. El registro geoarqueológico incluye *formaciones ocupacionales* (Borja, 1993), correspondientes a la ocupación de la época Romano-Imperial (siglos I a IV d.C.) y a la que va desde época Bajomedieval en adelante (>siglos XI-XII). Desde el punto de vista paleoambiental, en torno al 80% del registro polínico de estos momentos es de tipo herbáceo, correspondiéndose con una vegetación nitrófila de medios periurbanos y prados secos (M2 a M12) acompañada de plantas cultivadas *(Olea,* avellano, castaño). Sólo en el paréntesis que supone el tránsito tardorromano-altomedieval (aproximadamente entre los siglos IV-X), se registra una vegetación de herbáceas de prados húmedos, coincidiendo posiblemente con una reactivación de la influencia fluvial en el conjunto de la Vega que ahora eleva sus cotas por encima de los +6 m[7].

En síntesis, nos encontramos ante un sector interno de la paleoensenada del Guadalquivir cuyo registro muestra el tránsito de un ámbito fluvial a otro de carácter plenamente estuarino, el cual alcanza su máxima expresión en *ca.* 6.000 a. BP Tras este episodio de máxima inundación, un medio del tipo llanura aluvial de canal meandriforme va afianzándose progresivamente en la cola del estuario, siendo sus depósitos los que recibirán el primer impacto directo de la presencia humana conforme avanza el I Milenio a.C. Una vez traspasado el cambio de Era, se asiste al primer emplazamiento urbano estable sobre la llanura aluvial (+4 m). Esta ocupación de la vega se verá amenazada durante la Alta y Plena Edad Media, como demuestra el hecho de que parte de la *Hispalis* que bajó de la terraza fluvial (localización originaria) a la llanura quedó sepultada bajo nuevos sedimentos fluviales (+6 m), siendo estos aportes los que componen la nueva superficie de referencia para el desarrollo de la ciudad Bajomedieval y Moderna.

AGRADECIMIENTOS

Es contribución a CGL2005-01336/BTE y al IGCP-495; Contratos de Investigación Universidad de Huelva con I.A. "Estación Puerta de Jerez de la Línea 1 del Metro de Sevilla" y Patronato del Real Alcázar de Sevilla. Al Dr. Javier Lario (UNED) agradecemos la calibración de las edades ^{14}C.

6. Repárese en que un poco más al norte del emplazamiento estudiado, en el Real Alcázar de Sevilla, se encuentra la frontera sur de la ciudad protohistórica (<s. VIII), situada sobre la baja terraza fluvial de la margen izquierda del Guadalquivir (Borja y Barral, 2002).

7. Borja, F. y Barral, M.A. (2005). "Evolución histórica de la Vega de Sevilla". En: *La Catedral en la ciudad (I). Sevilla de Astarté a San Isidoro* (A. Jiménez, ed.). Aula Hernán Ruiz. Sevilla. Inédito, págs: 5-36.

REFERENCIAS

BARRAL, M.A y BORJA, F. 2007: “La secuencia geoarqueológica de San Juan de Acre en el contexto de la evolución del meandro urbano del Guadalquivir (Sevilla) durante los dos mil últimos años”. En A. Rodríguez y V. Aycart. (Eds.): San Juan de Acre. *La historia recuperada de un barrio de Sevilla* Envisesa. Sevilla: 91-99.

BORJA, F. 2007: “Geoarqueología urbana de Ilipa”. En E. Ferrer *et al.* (Eds.): Ilipa Antiqua. *De la Prehistoria a la Época Romana*. Excmo. Ayto. Alcalá del Río y Cajasol. Sevilla: 29-54.

BORJA, F. y BARRAL, M.A. 2002: “Estudio Geoarqueológico”. En M.A. Tabales (dir.): *El Alcázar de Sevilla. Primeros estudios sobre estratigrafía y evolución constructiva*. Junta de Andalucía y Patronato del Real Alcázar de Sevilla: 235-252.

BORJA, F. y BARRAL, M.A. 2007: “Aproximación a la evolución post-romana del sector occidental de la Vega Urbana de Sevilla”. En J. Lario y P.G. Silva (Eds.): *Contribuciones al estudio del periodo cuaternario*. UPM. Madrid: 97-98.

BORJA, F. y BORJA, C. 2007: “Geoarqueología urbana de Sevilla. Evolución de la vaguada del arroyo Tagarete durante el Holoceno (Llanura aluvial del Guadalquivir)”. En J. Lario y P.G. Silva (Eds.): *Contribuciones al estudio del periodo cuaternario*. UPM. Madrid: 99-100.

DABRIO, C.J.; ZAZO, C.; LARIO, J.; GOY, J.L.; SIERRO, F.J.; BORJA, F.; GONZÁLEZ, J.A. y FLORES, J.A. 1999: ”Sequence stratigraphy of Holocene incised-valley fills and coastal evolution in the Gulf of Cádiz (southern Spain)”. *Geologie en Mijnbouw* 77: 209-224.

DABRIO, C.J.; ZAZO, C.; GOY, J.L.; SIERRO, J.; BORJA, F.; LARIO, J.; GONZALEZ, J.A. y FLORES, J.A. 2000: Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology* 162: 381-404.

MARTÍN-CONSUEGRA, E.; CHISVERT, N.; CÁCERES, L. y UBERA, J.L. 1998: “Archaeological, palynological and geological contributions to landscape reconstruction in the alluvial plain of the Guadalquivir river, at San Bernardo, Seville (Spain)”. *Journal of Archaeological Science* 25: 521-532.

POZO, F.; HUNT, M.A. y MERCADO, L. 2006: “Actuaciones arqueológicas en la Línea 1 de Metro de Sevilla”. En *El Patrimonio Arqueológico y Paleontológico en las obras de ampliación del Metro de Madrid*. Comunidad de Madrid: 205-215.

RODRÍGUEZ, A.; RODRÍGUEZ, J.; CÁCERES, L.; CLEMENTE, L.; BELLUOMINI, G.; MANFRA, L.; IMPROTA, S. y DE ANDRÉS, J.R. 1996: “Recent coastal evolution of the Doñana nacional Park (SW, Spain). *Quaternary Science Review* 15: 803-805.

STUIVER, M. y BRAZIUNAS, P. 1993: “14C ages of marine simples to 10,000 BC yr BP”. *Radiocarbon* 35 (1): 137-189.

STUIVER, M. y REIMER, P. 1993: “Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C calibration program”. *Radiocarbon* 35: 231-237.

ZAZO, C.; DABRIO, C.J.; GONZÁLEZ, A.; SIERRO, F.; YLL, E.I.; GOY, J.L.; LUQUE, L.; PANTALEÓN-CANO, J.; SOLER, V.; ROURE, J.M.; LARIO, J.; HOYOS, M. y BORJA, F. 1999: “The record of the latter glacial and interglacial periods in the Guadalquivir marshlands (Mari López drilling, S.W. Spain). *Geogceta* 26: 119-122.

ZAZO, Z.; DABRIO, C.J.; GOY, J.L.; LARIO, J.; CABERO, A.; SILVA, P.G.; BARDAJÍ, T.; MERCIER, N.; BORJA, F. y ROQUERO, E. (en prensa): “The coastal archives of the last 15ky in the Atlantic-Mediterranean Spanish linkage area: sea level and climate change”. *Quaternary International Journal.*

ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA DIVERSIDAD MICROBIANA Y ANÁLISIS DE IMAGEN DE LAS MANIFESTACIONES PARIETALES EN LOS ABRIGOS DE FUENTE DEL TRUCHO Y DE MURIECHO L (COLUNGO, HUESCA)

PRELIMINARY STUDIES ON MICROBIAL DIVERSITY AND IMAGE ANALYSIS OF ROCK ART IN FUENTE DEL TRUCHO AND MURIECHO L SHELTERS (COLUNGO, HUESCA)

M.C. PORTILLO GUISADO, M.A. ROGERIO CANDELERA, J.M. GONZÁLEZ GRAU, C. SAIZ-JIMENEZ

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apartado 1052, 41080 Sevilla (España)

RESUMEN

El interés de estudiar los microorganismos en abrigos y cuevas con pinturas y grabados reside en que controlan o inducen procesos de deterioro. Mediante la utilización de las técnicas moleculares basadas en el ADN y ARN se pueden detectar los microorganismos presentes más abundantes y aquellos que muestran mayor actividad metabólica en un determinado hábitat sin necesidad de cultivarlos. La detección de microorganismos metabólicamente activos permite determinar aquellos que participan directamente en procesos de biodeterioro. La utilización de técnicas de análisis de imagen, por otra parte, permite la visualización de elementos difícilmente apreciables a simple vista y la evaluación y monitorización de todo tipo de fenómenos que afecten a la conservación de dichos enclaves únicos. Complementando resultados de estos dos tipos de técnicas se podrán diseñar estrategias sólidas de conservación.

ABSTRACT

The interest of studying microorganisms present in caves and shelters with paintings and engravings lies in their control or induction of biodeterioration processes. Utilizing DNA and RNA-based molecular techniques the detection of the most abundant microorganisms and those presenting significant metabolic activity in any habitat is made possible without the need for culturing. The detection of metabolically active microorganisms is useful to determine those directly involved in biodeterioration in caves and shelters with prehistoric representations. The utilization of image analysis techniques allows the visualization of elements hidden to the naked eye and the evaluation and monitoring of all sort of phenomena affecting the conservation of these unique sites and their paintings and engravings, as well as the planning of conservation strategies.

Palabras clave: Fuente del Trucho, Muriecho L, arte rupestre, biodeterioro, técnicas moleculares, análisis de imagen, Paleolítico.

Key words: *Fuente del Trucho, Muriecho L, rock art, biodeterioration, molecular techniques, image analysis, Palaeolithic.*

I. INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto de Investigación "Estudio integrado de los factores de deterioro de los sustratos rocosos del arte rupestre en Aragón: parámetros ambientales, geológicos y biológicos", cuyos objetivos son el objeto de otra comunicación a este congreso (Alloza *et al.,* 2007) se han muestreado los abrigos de Fuente del Trucho y Muriecho L, ambos en el término municipal de Colungo, Huesca (Figura 1). Se trata de dos abrigos de diferentes tipología, programa iconográfico y cronología que presentan problemas de conservación asociados, entre otros factores, a la colonización microbiana.

Figura 1. Plano de situación de los dos abrigos objeto de estudio. Fuente del Trucho (A) y Muriecho L (B). A partir de Baldellou *et al.* (2000) y Mir y Salas (2000).

Dentro de un enfoque global, que entiende cada localización con arte rupestre como un sistema natural complejo, se ha comenzado la caracterización de dos de sus elementos constituyentes: por un lado, los elementos bióticos presentes en los mismos, y por otro, la definición de los elementos pictóricos en su dimensión espacial.

Las comunidades microbianas naturales resultan complejas y difíciles de estudiar debido, principalmente, a su pequeño tamaño y a su elevada diversidad. Los microorganismos juegan un papel importante en los ecosistemas y los abrigos con manifestaciones rupestres no son una excepción. Son capaces de desarrollarse prácticamente en cualquier hábitat, participando y regulando los ciclos biogeoquímicos de los elementos (Whitman *et al.,* 1998; Northup y Lavoie, 2001).

Entre otros motivos, el interés de estudiar los microorganismos en abrigos y cuevas reside en que controlan o inducen procesos de deterioro (Cañaveras *et al.,* 2001; Northup *et al.,* 1997, 2003). El desarrollo de microorganismos conlleva, por un lado, procesos destructivos que causan la desintegración parcial o total del sustrato (roca, espeleotemas o pigmentos) y por otro lado, procesos constructivos que cubren o deterioran el sustrato (formaciones de tipos específicos de espeleotemas, *moonmilk,* depósitos de sales, etc.). El crecimiento microbiano concentrado en puntos determinados da lugar a colonizaciones por acumulación de un número elevado de microorganismos. Por tanto, la colonización biológica se presenta como un problema importante que afecta a la conservación de abrigos con pinturas rupestres.

Con objeto de estudiar las comunidades microbianas y determinar los distintos microorganismos que las componen se han propuesto métodos como la microscopía, el empleo de cultivos y recientemente se ha

introducido el empleo de técnicas moleculares, fundamentalmente aquellas basadas en ácidos nucleicos. Hoy en día se acepta que los métodos tradicionales de cultivo sólo permiten detectar menos del 1% de los microorganismos presentes en cualquier ecosistema natural (Ward *et al.,* 1990; Amann *et al.,* 1995). Así, más del 99% de los microorganismos quedarían sin detectar si se utilizaran procedimientos estándares de cultivo. Por ello, se hace necesaria la utilización de otras técnicas de detección e identificación como pueden ser, por ejemplo, las técnicas moleculares. Estas técnicas no requieren el cultivo de microorganismos, y por tanto, reflejan más fielmente la composición de las comunidades microbianas naturales. Gracias a las técnicas moleculares se ha descubierto la existencia de numerosos microorganismos previamente desconocidos (Liesack y Stackebrandt, 1992; Hugenholtz *et al.,* 1998; Angert *et al.,* 1998; Rappé y Giovannoni, 2003).

Cada microorganismo posee secuencias de ácidos nucleicos únicas que pueden ser utilizadas para su detección e identificación. Los elementos más utilizados para la identificación de microorganismos por métodos moleculares son los genes de ARN ribosómico (ARNr) y especialmente el gen de ARNr 16S para *Bacteria* y el 18S para *Eukarya* (Woese *et al.,* 1987). Los genes de ARNr han sido ampliamente utilizados para proporcionar información sobre la taxonomía y filogenia de los microorganismos.

Mediante la utilización de técnicas moleculares basadas en el análisis de ADN es posible conocer los miembros más significativos de una comunidad microbiana determinada. Sin embargo, generalmente, sólo una parte de esos componentes presentan actividad fisiológica detectable ya que en un ecosistema natural la gran mayoría de los microorganismos suelen estar en estadios de reposo a la espera de condiciones ambientales favorables para su desarrollo. El empleo de técnicas de análisis basadas en el ARN permite la detección de la fracción de las comunidades microbianas que presentan una actividad metabólica significativa con respecto al total de la comunidad. Esto es posible ya que la cantidad de ARN por célula es proporcional a su actividad metabólica (Molin y Givskov, 1999; Nogales *et al.,* 1999; Mills *et al.,* 2004) y por tanto una mayor actividad celular es proporcional a un contenido elevado de ARN por célula. La detección de microorganismos metabólicamente activos puede ser muy útil para determinar aquellos que participan directamente en el desarrollo de comunidades microbianas y en procesos biogeoquímicos relacionados con fenómenos de deterioro en abrigos y cuevas con representaciones prehistóricas. En este estudio se emplearon técnicas moleculares basadas tanto en el ADN como el ARN para determinar los componentes de las comunidades microbianas que se desarrollan en los abrigos estudiados.

Los métodos de análisis de imagen presentan un claro interés para monitorizar fenómenos que afectan la preservación de pinturas en abrigos naturales. La cubierta pictórica de los abrigos se ha documentado tradicionalmente mediante métodos de calco directo. Estos métodos presentan varios inconvenientes, como la documentación diferencial de los motivos: sólo lo que se ve puede ser reflejado en un calco tradicional. Sin embargo, al utilizar otros medios de documentación a veces se hacen patentes figuras o trazos no visibles a simple vista (Montero *et al.,* 1998; Mark y Billo, 2006). Las técnicas de análisis de imagen comienzan en la actualidad a emplearse sistemáticamente para la documentación de arte rupestre. Sin embargo, pueden distinguirse dos tipos de tratamiento de imágenes. Por una parte, la mayoría de los investigadores utilizan métodos que podríamos llamar “de retoque fotográfico”. Estos métodos fundamentalmente consisten, bien en la sustracción de colores o eliminación de fondos (como ejemplo, Cantalejo *et al.,* 2006), bien en la ecualización de la imagen para conseguir un incremento del contraste (Mark y Billo, 2002). La alternativa al retoque fotográfico se basa en el álgebra de imagen y los algoritmos de clasificación (Vicent *et al.,* 1996; Montero *et al.,* 1998). El carácter multibanda de la imagen obtenida mediante cámaras fotográficas digitales permite realizar operaciones algebraicas para cada píxel, cuyo valor corresponde con la reflectividad de las distintas cubiertas a determinadas longitudes de onda (Chuvieco, 2002). Para imágenes altamente correlacionadas, la extracción de colores no es, ciertamente útil, necesitándose la aplicación de técnicas de descorrelación de imágenes (Gillespie *et al.,* 1986, 1987)

tales como el Análisis de Componentes Principales (PCA). Las nuevas bandas obtenidas mediante estas técnicas representan transformaciones a nuevos sistemas de referencia con ejes ortogonales (Vicent *et al.,* 1996), por lo que los resultados son aptos para operaciones de clasificación ya que no se alteran los valores originales de los píxeles (Chuvieco, 2002). En este trabajo se ha utilizado un enfoque basado en el álgebra de imágenes para la definición espacial de motivos pintados centrándose, fundamentalmente, en el abrigo Muriecho L.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II.1. Zonas de estudio

En este estudio se ha trabajado sobre muestras procedentes de dos abrigos distintos y sustancialmente diferentes entre sí. El primero, La Fuente del Trucho, es un abrigo profundo con zonas en las que penetra poca intensidad lumínica, abierto en calizas eocenas y situado cerca de la confluencia del barranco del Trucho y el río Vero. En su interior se han documentado 22 paneles con representaciones pintadas y grabadas (Ripoll *et al.,* 2001) que se datan estilísticamente en dos fases: un primer momento encuadrable en el Gravetiense y un segundo posicionado en un momento transicional entre el Solutrense Final y el Magdaleniense Inicial (Ripoll *et al.,* 2001). El registro arqueológico del abrigo muestra tres unidades diferenciadas para las que se cuenta con dataciones absolutas correspondientes a la unidad inferior: 22.460 ±150 BP (^{14}C AMS) y a la superior: 19.060 ±80 BP (^{14}C AMS) (Mir y Salas, 2000). El otro abrigo objeto de estudio, Muriecho L, se abre en las formaciones calizas que flanquean el lecho del barranco de Fornocal, subsidiario del río Vero. Orientado casi totalmente al S, se trata de una cavidad de 5,60 m de profundidad máxima y 17 m de anchura máxima. Las representaciones parietales de este abrigo son exclusivamente de estilo Levantino, distribuyéndose en 4 paneles. No existen depósitos arqueológicos en el suelo de este abrigo (Baldellou *et al.,* 2000).

II.2. Recogida y tratamiento de las muestras

Las muestras se recogieron con material estéril, se preservaron con solución RNA*later*® (Ambion, Foster City, California, EE.UU.) y se mantuvieron a 4ºC hasta la llegada al laboratorio, donde se conservaron a -80ºC hasta su procesamiento.

II.3. Análisis de ADN y ARN

Se extrajo el ADN y el ARN de las muestras recogidas. El ADN fue extraído usando el kit de extracción Nucleospin Food DNA (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) y el ARN total utilizando el kit RNAqueous4PCR kit (Ambion Inc., Austin, Texas, EE.UU.) que incluye un tratamiento con DNasal para eliminar cualquier resto de ADN en el extracto final de ARN. Los ADN complemetarios (ADNc) al ARN de los genes de ARNr 16S se sintetizaron utilizando la transcriptasa inversa Thermoscript (Invitrogen, Carlsbad, Caliornia, EE.UU.) a 55ºC, durante una hora, con el cebador 518R (ATTACCGCGGCTGCTGG) (Muyzer *et al.,* 1993) específico complementario al gen ARNr 16S bacteriano. El ADNc obtenido fue utilizado como ADN molde para reacciones de amplificación por “Polymerase Chain Reaction” (PCR). La polimerasa usada para la reacción de PCR fue Extaq (Takara, Shiga, Japón) con los cebadores 616F (AGAGTTTGATYMTGGCTCAG) (Zimmermann et al. 2005) y 907R (CCCCGTCAATTCATTTGAGTTT) (Weisburg *et al.,* 1991) para la detección de bacterias y el par de cebadores CYA 106F (CGGACGGGTGAGTAACGCGTGA) y CYA 781R (GACTACWGGGGTATCTAATCCCWTT) (Nübel *et al.,* 1997) para la detección específica de cianobacterias. Las condiciones térmicas durante esta reacción fueron las siguientes: Un paso de 2 min a 95ºC seguido por 35 ciclos, compuesto por un periodo de desnaturalización a 95ºC durante 15 s,

un paso de hibridación de cebadores a 55ºC durante 15 s y un paso de extensión a 72ºC durante 2 min. Todo ello seguido por un paso de extensión final a 72ºC durante 10 min.

Los perfiles moleculares de las comunidades microbianas activas y totales se obtuvieron mediante electroforesis en gel con gradiente desnaturalizante (DGGE) siguiendo el método descrito por González y Sáiz-Jiménez (2004) y utilizando los cebadores 518R y 341F (TACGGGAGGCAGCAG) al que se le ha unido una cola rica en G y C para estabilizar la hebra de ADN durante la migración en el gel de poliacrilamida (Muyzer et al. 1993). Se utilizaron marcadores de migración (fragmentos de ARNr 16S de *Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Paenibacillus sp.* y *Streptomyces sp.)* como referencia para localizar la posición de los fragmentos clonados en perfiles moleculares obtenidos mediante DGGE.

Los productos de amplificación por PCR se purificaron mediante un kit de puficación JetQuick (Genomed, Alemania) y clonados con TOPO TA Cloning® Kit (Invitrogen, Carlsbad, California, EE.UU). Las genotecas de genes de ARNr 16S así construidas se emplearon para identificar los componentes microbiológicos de la comunidad. Para la selección de los clones de estas genotecas se utilizó el método previamente descrito por González *et al.* (2003). Para determinar los homólogos más cercanos a las secuencias obtenidas se utilizó la base de datos Genbank disponible en el National Center for Biotechnology Information (NCBI) (http://www.ncbi.nlm.nih.gov). Las secuencias fueron analizadas mediante el algoritmo de búsqueda BLAST (Altschul *et al.,* 1990) también disponible por Internet en el NCBI. Las secuencias obtenidas fueron analizadas en busca de posibles estructuras quiméricas usando Ccode (González *et al.,* 2005).

II.4. Análisis de imagen

Se aplicó Análisis de Componentes Principales a imágenes digitales tribanda de 3.1 Mp del abrigo Muriecho L utilizando el *software* HyperCube (US Army Topographic Engineering Centre, Alexandria, Virginia, EE.UU.), utilizando el método de la matriz de covarianzas. Este mismo *software* ha servido para elaborar imágenes en falso color. Operaciones adicionales, como el escalado y la extracción de fondos, se han llevado a cabo utilizando el paquete ImageJ (National Institutes of Health, Rocksville, Maryland, EE.UU.).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conocimiento de los microorganismos que componen las comunidades microbianas y el análisis de imagen de las representaciones artísticas encontradas en los abrigos estudiados representan dos estrategias importantes para comprender el deterioro y estado de conservación de esas pinturas y gestionar medidas adecuadas para su conservación.

Los microorganismos presentes en los abrigos de la Fuente del Trucho y Muriecho L han sido estudiados, siguiendo las técnicas más innovadoras existentes hoy en día, principalmente, en base a métodos moleculares de detección de ADN y ARN. Se han investigado los grupos de microorganismos presentes en dichos abrigos (a partir de ADN) y aquellos grupos de microorganismos que se presentan como metabólicamente activos (a partir de su ARN). También se han obtenido perfiles moleculares por DGGE que caracterizan las comunidades microbianas (en base al ADN y al ARN) de los enclaves estudiados (Figura 2).

Entre las comunidades microbianas detectadas en depósitos salinos de color blanco en la Fuente del Trucho destacaban las Gamma Proteobacteria como grupo predominante entre las bacterias metabólicamente activas. En una zona con aspecto ahumado (negra) destacaba la presencia de Actinobacterias metabólicamente activas. Otros grupos representativos encontrados en esas muestras fueron Alfa y Beta proteobacterias, Actinobacterias, Bacteroidetes y Firmicutes. Estos resultados se diferencian de la comunidad microbiana detectada en el suelo del abrigo en la que predominaban como bacterias metabólicamente activas las Actinobacterias y las Alfa proteobacterias.

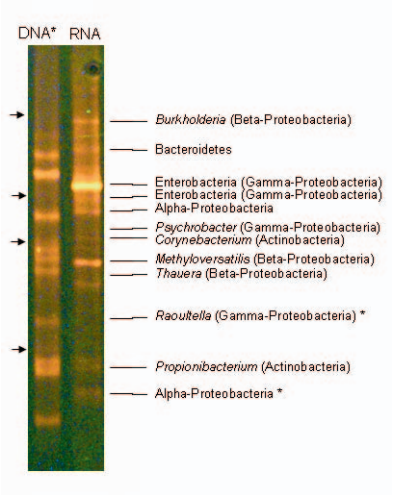


Figura 2. Ejemplo de perfiles moleculares basados en ADN y ARN obtenidos a partir de una muestra de precipitado blanco recogida en el abrigo de la Fuente del Trucho. A la derecha del perfil se indican los principales grupos microbianos identificados así como su correspondiente migración en la DGGE. Con un asterisco se indican las secuencias obtenidas a partir del ADN.

En el abrigo Muriecho L se han analizado fundamentalmente las colonizaciones por algas endolíticas y microorganismos que han colonizado zonas de escorrentía y que cubren zonas significativas de este abrigo. Se observó el desarrollo incipiente de organismos fotosintéticos bajo la capa superficial de roca (comunidad endolítica). El componente fotosintético de esta comunidad se compone fundamentalmente de Cianobacterias (fundamentalmente *Chroococcidiopsis, Cylindrospermum,* y *Phormidium)* y musgos (Briofitas). Además, entre las bacterias asociadas a estos productores primarios se detectaron Bacteroidetes, Actinobacterias, y otras que corresponden a grupos microbianos aún no clasificados taxonómicamente. En este abrigo se observó una escorrentía de color gris que cubría una zona importante del mismo. En esta escorrentía se detectó la proliferación de una comunidad microbiana basada en el crecimiento de Cianobacterias *(Nostoc, Anabaena, Microcoleus)* y donde también se detectaron bacterias pertenecientes a la división Chloroflexi que generalmente suelen ser bacterias fotosintéticas. Su crecimiento y desarrollo parece estar favorecido por el aporte de materia orgánica e inorgánica disuelta en las aguas de escorrentía. Otras bacterias asociadas a esta comunidad pertenecían a las Alfa proteobacterias y Actinobacterias. Una muestra de roca de este abrigo permitió la detección, principalmente, de Gamma proteobacterias y Cianobacterias *(Nostoc).*

Algunos de los grupos bacterianos detectados, como Acidobacterias, Bacteroidetes, Chloroflexi o Gemmatimonadetes, poseen escasos representantes cultivados por lo que existe un elevado desconocimiento sobre su metabolismo y hábitats idóneos para su desarrollo. Este hecho dificulta la evaluación del riesgo existente para la conservación de estos abrigos como consecuencia del crecimiento de esos microorganismos y subraya la importancia de utilizar métodos moleculares para su detección.

En la mayoría de muestras analizadas, el perfil molecular de la comunidad metabólicamente activa obtenido a partir del ARN mostraba un menor número de bandas que el correspondiente perfil molecular obtenido por análisis basado en el ADN (Figura 2). Idealmente, la detección de miembros activos de las comunidades permitiría enfocar el estudio en aquellos microorganismos que participan directamente en los procesos de colonización y alteración de los sustratos. En este estudio, la determinación de los miembros activos de las comunidades se ha llevado a cabo a través de análisis de ARN. Por otro lado, existe una fracción importante de los microorganismos en estas comunidades que no se encuentran metabólicamente activos pero que podrían cambiar su situación si se producen alteraciones en el ecosistema estudiado, representando así un riesgo potencial para la conservación de estas pinturas. Por este motivo también es fundamental el análisis basado en el ADN para detectar la mayoría de los microorganismos presentes en las comunidades estudiadas.

Las imágenes digitales obtenidas de las paredes de Muriecho L, pintadas en rojo sobre un soporte con tintes rojizos, presentaban un alto grado de correlación visual (Figura 3). Por ello, se recurrió a PCA, una técnica ampliamente utilizada en Teledetección Espacial (Chuvieco, 2002), para descorrelacionar los datos al representarlos sobre un nuevo sistema de coordenadas ortogonales. El resultado de la aplicación de esta técnica es una serie de pseudobandas (tantas como bandas tenga la imagen original), que reflejan información descorrelacionada entre sí (Montero *et al.,* 1998; Vicent *et al.,* 1996). El porcentaje de información recogido por cada pseudobanda viene dado por su autovalor, que corresponde al factor de escala del autovector que define cada uno de los ejes del nuevo sistema de referencia. La Tabla 1 muestra los porcentajes de información recogidos en cada una de las pseudobandas obtenidas mediante PCA aplicado a la imagen de la Figura 3A. Mediante el uso de PCA se posibilita la eliminación de datos redundantes, facilitándose la visualización de los motivos pictóricos cuyo contraste se pretende mejorar.

Como puede observarse en la Tabla 1, la segunda Componente Principal (CP) es la más pertinente para hacer destacar la pintura con respecto a la roca soporte, ya que la 1ª CP, al recoger un porcentaje tan alto de información, no permite diferenciar entre estos dos elementos.

La información recogida en la 2ª CP se refiere fundamentalmente a la capa pictórica, mientras que la 3ª CP aporta información fundamentalmente sobre el microrelieve y fisuraciones de la roca soporte.

A partir de las imágenes recogidas en la Figura 3, se elaboraron dos imágenes en falso color asignando diferentes bandas a las que corresponderían al rojo, verde y azul del modelo RGB. La correspondiente a la Figura 3A se compuso utilizando la banda roja del visible y dos veces la correspondiente a la 2ª CP. La imagen en falso color que corresponde a la Figura 2B se compuso utilizando la 2ª CP como base, pero,

Figura 3. Fotografías digitales de distintas vistas del Panel 1 (Baldellou *et al.,* 2000) de Muriecho L.

COMPONENTE PRINCIPAL	AUTOVALOR	INFORMACIÓN REGISTRADA (%)
1	643,3665	84,07
2	120,5805	15,76
3	1,319253	0,17
TOTAL	765,266253	100,00

Tabla 1. Información registrada por cada una de las componentes principales de la imagen de la Figura 3A obtenida a partir de sus autovalores.

además se utilizó una banda creada a partir de la sustracción del fondo a la 2ª CP y una tercera elaborada mediante la conversión de la imagen original a escala de grises y selección de los valores de gris más cercanos al negro. Este segundo tratamiento se probó para intentar minimizar la influencia del fondo a la hora de destacar las figuras pintadas. Al comparar los resultados del análisis de imagen con el calco publicado (Baldellou et al. 2000) de las pinturas de este abrigo, elaborado mediante métodos tradicionales, pudo comprobarse que, a pesar de que éste reflejaba con bastante fidelidad los elementos existentes, algunos detalles no aparecían recogidos. Las principales discrepancias se señalan en la Figura 4.

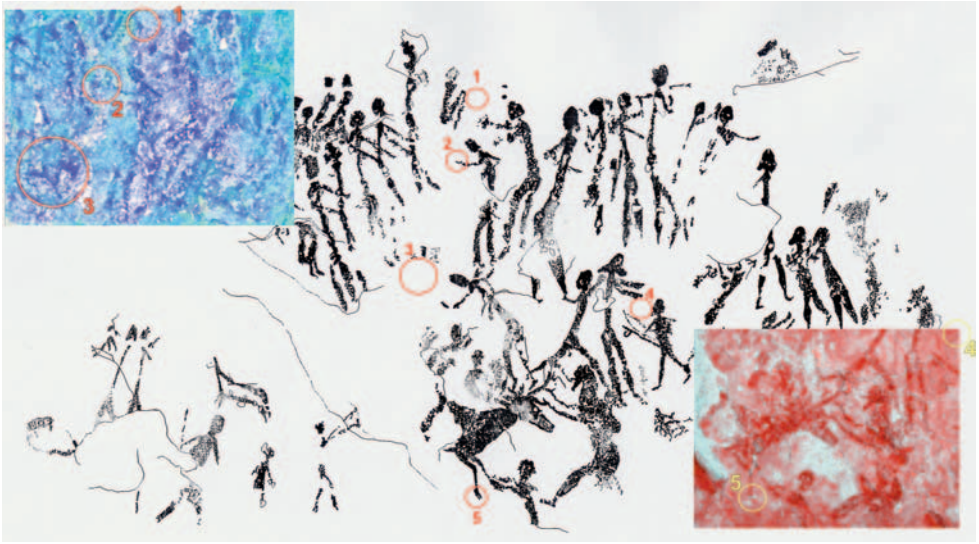


Figura 4. Principales discrepancias entre el calco original del Panel 1 de Muriecho L (Baldellou *et al.,* 2000) y las imágenes obtenidas en este trabajo. 1. Presencia de un posible personaje no recogido en el calco; 2. El personaje porta un instrumento similar al que lleva en su mano la figura que se sitúa inmediatamente a su derecha; 3. Posible figura zoomorfa no reflejada en el calco; 4. Líneas junto al arco no reflejadas en el calco; 5. Pérdida de pintura en la pezuña del cérvido, así como carácter no bisulco de la misma. La imagen en tonos rojos corresponde con la Figura 3A; la imagen en tonos azules con la Figura 3B.

La aplicación de técnicas de análisis de imagen a los motivos rupestres de Muriecho L ha permitido contrastar la utilidad de estos métodos para la mejora en la visibilidad de motivos no visibles a simple vista en imágenes altamente correlacionadas, si bien es necesaria la comprobación de los resultados obtenidos ya que existe la posibilidad de que aparezcan artefactos en el proceso de elaboración de las imágenes en falso color. En este sentido, el falo con el que aparece dotado el personaje que sostiene las cuernas del cérvido, no recogido en el calco, se ha podido identificar como producto de una sombra en el fotograma.

IV. CONCLUSIONES

Se comprobó la presencia de comunidades microbianas muy complejas y diferenciadas entre las distintas zonas estudiadas y con claro interés de cara a la conservación de estos enclaves. Además se han detectado nuevos motivos pictóricos, identificados mediante análisis de imagen.

El conocimiento de los microorganismos que componen esas comunidades microbianas y el análisis de imagen de las pinturas que se encuentran en estos abrigos representan contribuciones importantes para gestionar estrategias adecuadas de conservación de los abrigos estudiados además de permitir obtener información sobre los procesos de deterioro que afectan a estas pinturas y la monitorización del estado de conservación de las mismas en escalas espacio-temporales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de los proyectos PM055/2006 (Gobierno de Aragón) y PIF 200540F0023 (CSIC). Los autores agradecen al Departamento de Educación, Cultura y Deporte de la Diputación General de Aragón las facilidades dadas para el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ALLOZA, R.; ARRANZ, E.; GONZÁLEZ, J.M. y BALDELLOU, V. 2007: "La conservación del arte rupestre al aire libre" (este volumen).

ALTSCHUL, S.F.; GISH, W.; MILLER, W.; MYERS, E.W. y LIPMAN, D.J. 1990: "Basic local alignment search tool". *Journal of Molecular Biology* 215: 403-410.

AMANN, R.I.; LUDWIG, W. y SCHLEIFER, K.H. 1995: "Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation". *Microbiological Reviews* 59: 143-169.

ANGERT, E.R.; NORTHUP, D.E.; REYSENBACH, A.L.; PEEK, A.S.; GOEBEL, B.M. y PACE, N.R. 1998: "Molecular phylogenetic analysis of a bacterial community in Sulphur River, Parker Cave, Kentucky". *American Mineralogist* 83: 1583-1592.

BALDELLOU, V.; AYUSO, P.; PAINAUD, A. y CALVO, M.J. 2000: "Las pinturas rupestres de la partida de Muriecho (Colungo y Bárcabo, Huesca)". *Bolskan* 17: 33-86.

CANTALEJO, P.; MAURA, R.; ESPEJO, M.M.; RAMOS, J.F.; MEDIANERO, J.; ARANDA, A. y DURÁN, J.J. 2006: *La Cueva de Ardales: Arte prehistórico y ocupación en el Paleolítico Superior.* Centro de Ediciones de la Diputación Provincial de Málaga. Málaga.

CAÑAVERAS, J.C.; SANCHEZ-MORAL, S.; SOLER, V. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2001: "Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls". *Geomicrobiology Journal* 18: 223-240.

CHUVIECO, E. 2002: *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio.* Ariel. Barcelona.

GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B. y WALKER, R.E. 1986: "Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretches". *Remote Sensing of Environment* 20: 209-235.

GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B. y WALKER, R.E. 1987: "Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques". *Remote Sensing of Environment* 22: 343-365.

GONZALEZ, J.M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2005: "Application of molecular nucleic acid-based techniques for the study of microbial communities in monuments artworks". *International Microbiology* 8: 189-194.

GONZALEZ, J.M.; ORTIZ-MARTINEZ, A.; GONZALEZ-DEL VALLE, M.A.; LAIZ, L. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2003: "An efficient strategy for screening large cloned libraries of amplified 16S rDNA sequences from complex environmental communities". *Journal of Microbiological Methods* 55: 459-463.

GONZALEZ, J.M.; ZIMMERMANN, J. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2005: "Evaluating putative chimeric sequences from PCR amplified products and other cross-over events". *Bioinformatics* 21: 333-337.

HUGENHOLTZ, P.; PITULLE, C.; HERSHBERGER, K.L. y PACE, N.R. 1998: "Novel division level bacterial diversity in a Yellowstone hot spring". *Journal of Bacteriology* 180: 366-376.

LIESACK, W. y STACKEBRANDT, E. 1992: “Occurrence of novel groups of the domain Bacteria as revealed by analysis of genetic material isolated from an Australian terrestrial environment”. *Journal of Bacteriology* 174: 5072-5078.

MARK, R. y BILLO, E. 2002: “Application of digital image enhancement in rock art recording”. En F. Taboada y M. Strecker (eds.): *Actas de la Sección 1 del V Simposio Internacional de Arte Rupestre, Tarija, Sept. 2000.* Contribuciones al Estudio del Arte Rupestre Sudamericano 6: 142-153.SIARB. La Paz.

MARK, R. y BILLO, E. 2006: “Computer-assisted photographic documentation of rock art”. *Coalition* 11: 10-14.

MILLS, H.J.; MARTINEZ, R.J.; STORY, S. y SOBECKY, P.A. 2004: “Identification of members of the metabolically active microbial populations associated with Beggiatoa species”. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 5447- 5458.

MIR, A. y SALAS, R. 2000: “La cueva de la Fuente del Trucho y su industria lítica arcaizante del Pleniglacial superior (Colungo, Huesca)”. *Bolskan* 17: 9-32.

MOLIN, S. y GIVSKOV, M. 1999: “Application of molecular tools for in situ monitoring of bacterial growth activity”. *Environmental Microbiology* 1: 383-391.

MONTERO, I.; RODRIGUEZ, A.L.; VICENT, J.M. y CRUZ, M. 1998: “Técnicas digitales para la elaboración de calcos de arte rupestre”. *Trabajos de Prehistoria* 55 (1): 155-169.

MUYZER, G.; DE WAAL, E.C. y UITTERLINDEN, A.G. 1993: “Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA”. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 695-700.

NOGALES, B.; MOORE, E.R.B.; ABRAHAM, W.R. y TIMMIS, K.N. 1999: “Identification of the metabolically active members of a bacterial community in a polychlorinated biphenyl-polluted moorland soil”. *Environmental Microbiology* 1: 199–212.

NORTHUP, D.E. y LAVOIE, K.H. 2001: “Geomicrobiology of caves: a review”. *Geomicrobiology Journal* 18: 199-222.

NORTHUP, D.E.; BARNS, S.M.; YU, L.E.; SPILDE, M.N.; SCHELBLE, R.T.; DANO, K.E.; CROSSEY, L.J.; CONNOLLY, C.A.; BOSTON, P.J.; NATVIG, D.O. y DAHM, C.N. 2003: “Diverse microbial communities inhabiting ferromanganese deposits in Lechuguilla and Spider Caves”. *Environmental Microbiology* 5: 1071-1086.

NÜBEL, U.; GARCIA-PICHEL, F. y MUYZER, G. 1997: “PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria”. *Applied and Environmental Microbiology* 63: 3327-3332.

RAPPÉ, M.S. y GIOVANNONI, S.J. 2003: “The uncultured microbial majority”. *Annual Review of Microbiology* 57: 369-394.

RIPOLL, S.; BALDELLOU, V.; MUÑOZ, F.J. y AYUSO, P. 2001: “La Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca)”. *Bolskan* 18: 211-224.

VICENT, J.M.; MONTERO, I.; RODRIGUEZ, A.L.; MARTINEZ, M.I. y CHAPA, T. 1996: “Aplicación de la imagen multiespectral al estudio y conservación del arte rupestre postpaleolítico”. *Trabajos de Prehistoria* 53 (2): 19-35.

WARD, D.M.; WELLER, R. y BATESON, M.M. 1990: “16S rRNA sequences reveal numerous uncultured microorganisms in a natural community”. *Nature* 345: 63-65.

WEISBURG, W.G.; BARNS, S.M.; PELLETIER, D.A. y LANE D.J. 1991: “16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study”. *Journal of Bacteriology* 173: 697-703.

WHITMAN, W.B.; COLEMAN, D.C. y WIEBE, W.J. 1998: “Prokaryotes: The unseen majority”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95: 6578-6583.

WOESE, C. 1987: “Bacterial evolution”. *Microbiological reviews* 51: 221-271.

ZIMMERMANN, J.; GONZALEZ, J.M.; LUDWIG, W. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2005: “Detection and phylogenetic relationships of a highly diverse uncultured acidobacterial community on Palaeolithic paintings in Altamira Cave using 23S rRNA sequence analyses”. *Geomicrobiology Journal* 22: 379-388.

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS Y TÉCNICAS SOBRE LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EN RESTOS DENTARIOS DE UNGULADOS PARA LA MEDICIÓN ISOTÓPICA. EJEMPLOS DE TELL HALULA 7700 - 7000 CAL ANE (VALLE MEDIO DEL ÉUFRATES, SIRIA)

METHODOLOGICAL AND TECHNICAL CONSIDERATIONS FOR SAMPLING ON DENTAL REMAINS OF UNGULATE FOR ISOTOPIC MEASUREMENT. EXAMPLE FROM TELL HALULA 7700 – 7000 CAL BC (MIDDLE EUPHRATES VALLEY, SYRIA)

CARLOS TORNERO, MARIA SAÑA

Laboratori d'Arqueozoologia, Departament de Prehistòria. , Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici-B. Campus de la UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Carlos.Tornero@uab.cat, Maria.Sana@uab.cat

RESUMEN

Se presenta en este trabajo una propuesta metodológica en la que se ponen de relieve los aspectos técnicos implicados en el análisis del ratio de los isótopos estables C^{13}/C^{12} y O^{18}/O^{16} de la bioapatita del esmalte dentario en poblaciones de ungulados, enfatizando las cuestiones relativas al procedimiento y estrategia de muestreo, extracción y tratamiento de las muestras (previo a la medición de la composición isotópica). La dinámica particular de formación y desarrollo que presenta la dentición hipsodonta en ungulados permite trabajar con resoluciones temporales muy precisas, hecho que supone una ventaja para el análisis arqueológico. Los resultados obtenidos mediante la aplicación concreta realizada de esta propuesta al estudio de la problemática histórica relativa a las estrategias de gestión ganadera en el yacimiento de tell Halula (valle del Éufrates, Siria) sirven de referencia para evaluar sus posibilidades y limitaciones, tanto a nivel técnico como a nivel interpretativo.

ABSTRACT

In this work a methodological proposal is given regarding the technical aspects implied in the analysis of the stable isotope ratio C^{13}/C^{12} and O^{18}/O^{16} from dental enamel bioapatite in ungulate population, with emphasis in sampling procedures and strategy, extraction and processing of samples (before the actual measurement of the isotopic composition). The particular dynamics of formation and development of hypsodent teeth in ungulates allows for a very precise chronological resolution, which is very advantageous for archaeological analysis. The results obtained through the specific application carried out in this proposal to the study of the historical questions related to the strategies of livestock management in the Tell Halula (Euphrates Valley, Syria) archaeological site, can be used as a framework to evaluate its potential and limitations, both at the technical and at the interpretative levels.

Palabras clave: arqueozoología, isótopos estables, esmalte, bioapatita, δC^{13}, δO^{18}, Neolítico, *Bos sp.*

Key words: *archaeozoology, stable isotopes, enamel, bioapatite, $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, Neolithic, Bos sp.*

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace dos décadas, el análisis del ratio de algunos isótopos estables se viene aplicando en arqueología de forma creciente. Se trata de una técnica analítica que permite caracterizar de forma química materiales recuperados en yacimientos arqueológicos y supone una nueva herramienta para el conocimiento de las formaciones sociales del pasado. Las aplicaciones sobre restos inorgánicos como metales, minerales y producciones cerámicas se vienen realizando desde principios de lo años 50 y 60 (ver *Archaeological Chemistry Symposiums* en Levey, 1967; Carter, 1978 y Goffer, 1980). Es a finales de los años 70 que empiezan a realizarse los primeros trabajos a partir de restos orgánicos (Vogel & van der Merwe, 1977; van der Merwe & Vogel, 1978), coincidiendo también con el inicio de otros tipos de análisis químicos, como el análisis de concentraciones elementales (Brown, 1973, 1974; Gilbert, 1975; Kavanaugh, 1979; Lambert *et al.,* 1979).

Los principales ratios de isótopos estables recontados son los del carbono C^{13}/C^{12}, los del oxígeno O^{18}/O^{16}, los del nitrógeno N^{15}/N^{14} y los de estroncio Sr^{87}/Sr^{86} (Figura 1). El carbono, el oxígeno y el nitrógeno conforman, conjuntamente con el hidrógeno y el sulfuro, el denominado *quinteto de la vida,* elementos presentes no sólo en toda forma de vida orgánica sino en la mayoría de reacciones químicas que se conocen sobre ellas (Schoeller, 1999), y por tanto involucrados en todo un conjunto de actividades sociales de alta importancia para el estudio arqueológico de la producción, distribución y consumo de alimentos. La utilización del estroncio, en cambio, responde de forma más concreta a sus propias particularidades como referente geológico del emplazamiento donde tienen lugar estos procesos. El estroncio es un elemento no presente de forma natural en los organismos vivos. Se incorpora a ellos ocupando los emplazamientos del calcio, también muy presente en los organismos vertebrados, y lo hace a partir de su incorporación en el consumo de alimentos: por ejemplo de vegetales, de animales, pero también en menor medida con la ingesta de agua (Bentley, 2006). De forma experimental en la actualidad se trabaja también en la evaluación de las posibilidades del ratio de los isótopos de sulfuro S^{32}/S^{34} (Márquez-Grant *et al.,* 2003; Richards *et al.,* 2003:37; Garcia *et al.,* 2004) y calcio Ca^{44}/Ca^{40} (Clementz *et al.,* 2003:29), además del de plomo Pb^{207}/Pb^{205} que al igual que el estroncio no es un elemento natural en los organismos vivos y pasa a ocupar emplazamientos concretos de otros elementos (Montgomery *et al.,* 2000).

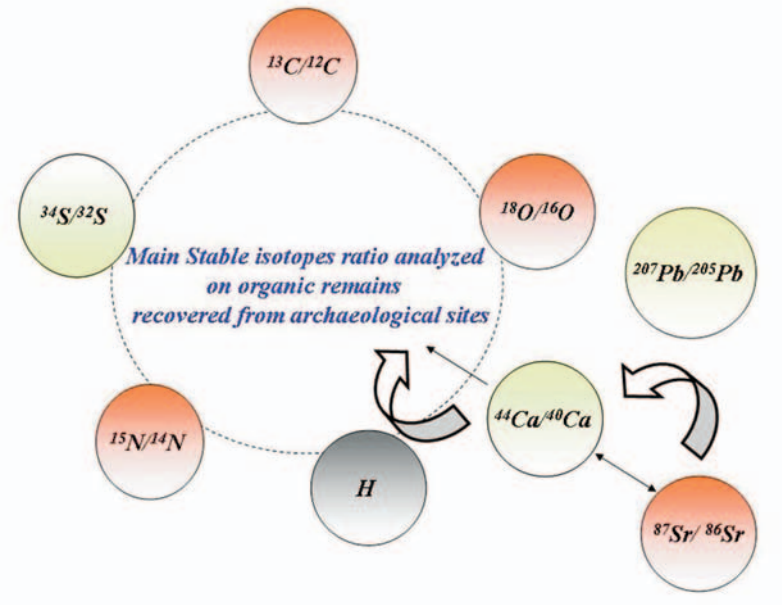


Figura 1. Principales ratios de isótopos estables recontados en restos de fauna.

En este trabajo se presentan las principales consideraciones y posibilidades de la integración del análisis de isótopos estables a la investigación en arqueozoología. Se hace principal hincapié en los restos de macromamiferos terrestres, poniendo de manifiesto, a modo de ejemplo, las aplicaciones realizadas sobre restos de ungulados con formación dentaria hipsodonta recuperados en el yacimiento neolítico de *tell Halula* (Valle Medio del Eufrates, Siria). Se presentan en concreto los resultados del análisis de los valores δC^{13} y δO^{18} del CO_3 de la bioapatita del esmalte dentario de bóvidos.

2. CONSIDERACIONES GENERALES EN TORNO AL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN RESTOS DE FAUNA

Las concentraciones isotópicas se fijan en los tejidos animales a partir de los alimentos y el agua ingerida por los individuos. No obstante, es obvio que las concentraciones isotópicas analizadas en los animales no son las mismas que las originales de los alimentos y el agua que ingieren. En el proceso de asimilación y fijación de las concentraciones isotópicas (y sobre todo a causa de los procesos de asimilación de los nutrientes) tienen lugar todo un número de transformaciones metabólicas que repercuten en nuevos fraccionamientos isotópicos sobre las concentraciones originales. Como resultado, las concentraciones isotópicas de los alimentos se modifican ligeramente al fijarse en los diferentes tejidos (Van der Merwe, 1982; Kohn, 1999; Schoeller, 1999; Tikot, 2004).

Un gran número de estudios conforman un *corpus* experimental de procesos de fraccionamiento que acontecen en el ratio de los isótopos al fijarse las concentraciones en cada uno de los tejidos y elementos potencialmente analizables de los animales (Ambrose et Norr, 1993; Tieszen et Frage, 1993). En el caso concreto del análisis de los valores δC^{13} en restos de mamíferos terrestres se conoce por ejemplo, que el colágeno del tejido óseo presenta un enriquecimiento entorno a los +5‰ mientras que la bioapatita del mismo un +12‰ (Vogel, 1978:299; Sullivan et Krueger, 1981; Tieszen, 1991; Ambrose et Norr, 1993). Para el caso de herbívoros rumiantes y con digestiones simbióticas a partir de microbios que producen grandes sumas de metano, la bioapatita del tejido óseo sería enriquecida +13,5‰ en relación a la dieta (Vogel, 1978a:299). Y en el caso del esmalte de los mismos mamíferos herbívoros, la bioapatita presentaría un enriquecimiento entre +12 y +14‰ (Lee-Thorp et Van der Merwe, 1987:13; Lee-Thorp *et al.,* 1989; Cerling et Harris, 1999:356). Recientes estudios permiten ajustar aún más estas relaciones a nivel específico. Por ejemplo, el trabajo de Passey *et al.* (2005:1465) propone un enriquecimiento de ~+14,5‰ en la bioapatita del esmalte dentario para el caso de los bueyes.

Los principales elementos esqueléticos de macromamíferos terrestres analizados son los restos óseos y los restos dentarios, si bien se han desarrollado también aproximaciones a partir de restos de cornamentas (Schweissing et Grupe, 2003) o cabellos (Cerling et Harris, 1999) en el caso de que se preserven. La selección del tipo de resto deberá tener en consideración aspectos básicos como los datos relativos a la formación biológica y las consideraciones relativas al proceso de fosilización del resto, tejido y compuesto por analizar. Esto se debe a que no todos los tejidos registran de la misma manera las composiciones isotópicas ni tampoco todos los tejidos que perduran a lo largo del proceso de deposición y postdeposición resultan inalterables a los efectos de diagénesis.

En relación al primer punto, deberá considerarse por ejemplo el hecho de que los ratios recontados en los tejidos dentarios como el esmalte o la dentina serán representativos únicamente de periodos concretos de crecimiento del individuo (Sealy *et al.,* 1995:290; Balasse *et al.,* 1999:593-594), mientras que los valores obtenidos en el tejido óseo serán representativos del proceso de remodelación constante durante la vida de los individuos, con un ritmo aproximado de 8-10 años para el caso del colágeno del tejido óseo de marcromamíferos adultos (Ambrose et Norr, 1993; Balasse *et al.,* 1999; Copley *et al.,* 2004:1275). Las concentraciones isotópicas originales en ocasiones pueden no preservarse o verse

modificadas cuando tienen lugar determinados procesos de diagénesis (ver Kohn *et al.,* 1999; Nielsen-Marsh et Hedges, 2000; Lee-Thorp, 2002; Schoeninger *et al.,* 2003). En este sentido será necesario conocer los procedimientos que permitan realizar lecturas correctas así como las características intrínsecas de los diferentes tejidos analizables (Lee-Thorp, 2002). Por ejemplo para el caso de esmalte dentario, y a partir de trabajos experimentales, se ha documentado un grado más alto de preservación de algunas de sus concentraciones isotópicas dada su alta compactación, reducida porosidad y talla elevada de los cristales minerales (Quade *et al.,* 1992; Wang et Cerling, 1994; Koch *et al.,* 1997; Sponheimer et Lee-Thorp, 1999b).

Finalmente, y en función de cada tipo de tejido y componentes que los conforman, se aplica uno u otro procedimiento analítico. A modo de ejemplo, y para formalizar de forma más concreta el tipo de técnica analítica que se presenta, centraremos el discurso del trabajo en el análisis de la bioapatita del esmalte dentario en macromamiferos terrestres con formación dentaria hipsodonta (o de corona alta), con el objetivo de hacer explícitas las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta y las posibilidades de su integración a la investigación arqueológica.

3. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS Y TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN LA BIOAPATITA DEL ESMALTE DENTARIO. EL CASO DE UNGULADOS CON FORMACIÓN DENTARIA HIPSODONTA

El esmalte es uno de los tejidos que conforman las piezas dentarias de los mamíferos. Se compone de una fracción orgánica y una mineral, pero de forma particular ésta supone más del 96% del total de su peso. Se ha demostrado que el esmalte presenta, dadas sus propias características de alta compactación, dureza, y composición a partir de grandes cristales, una reducida porosidad lo que supone una alta preservación relativa de las concentraciones isotópicas viéndose poco afectado durante los procesos de fósil diagénesis (Ayliffe *et al.,* 1994:5296; Wang et Cerling, 1994:288; Bocherens *et al.,* 1996:308; Cerling *et al.,* 1997:638; Sponheimer et Lee-Thorp, 1999a:727; Zazzo *et al.,* 2002:146; Schoeninger *et al.,* 2003:11-12; Sharma *et al.,* 2004:19).

La bioapatita es el compuesto mineral predominante y presenta una estructura $Ca_5(PO_4)_3(OH)$. Durante el proceso de formación de los frentes de mineralización modifica alguno de sus componentes, perdiendo algunos e incorporando otros como el caso de los grupos carbonatados. Los ratios de carbono proceden únicamente de los grupos carbonatos añadidos mientras que el recuento de los ratios de oxígeno es posible realizarlo también de los grupos fosfatos de la estructura. En la publicación de Lee-Thorp (2002) pueden consultarse las ventajas de cada una de las aproximaciones.

El esmalte dentario no se remodela una vez formado. Este dato implica tener en cuenta ciertas consideraciones, no sólo a la hora de realizar la interpretación de los valores obtenidos, sino también en el momento de conformar las estrategias de muestreo, dado que los valores recontados son exclusivamente representativos del periodo de formación del tejido en los individuos analizados (Lee-Thorp et Van der Merwe, 1987), en consonancia a la dinámica de crecimiento y desarrollo de cada pieza dentaria. De forma genérica, podemos decir que se inicia antes del proceso de erupción de la pieza dentaria y que finaliza con posterioridad, próximo al momento en que las raíces dentales se contraen cerrando casi por completo el conducto alveolar (Hillson, 2005). No obstante, el periodo de formación es variable no sólo entre especies sino entre piezas dentales de un mismo individuo.

Los ungulados con formación hipsodonta presentan coronas dentarias altas con periodos largos de formación. Estas particularidades facilitan el muestreo secuenciado del esmalte de estas piezas, permitien-

do representar a partir de las concentraciones isotópicas la variabilidad interdental. La primera aplicación[1] realizada en esta línea fue de Bryant *et al.* (1996b) a partir de piezas dentales de équidos. Posteriormente la aproximación ha sido adoptada por numerosos investigadores y enfocada hacía la resolución de diversas problemáticas (Gadbury *et al.,* 2000; Balasse, 2003; Balasse *et al.,* 2003; Sharma *et al.,* 2004; Balasse et Ambrose, 2005).

Además de considerar estos aspectos generales, durante el muestreo deberá registrarse también la posición y dirección de la muestra, teniendo en cuenta el número de análisis que se van a realizar de cada resto dentario. La definición de estas variables permitirá llevar a cabo estrategias de muestreo con diferentes grados de resolución temporal: baja, media y alta. Así, estrategias de muestreo como las que desarrollan Bryan *et al.* (1996b:78 y 81) sobre piezas dentarias aisladas o de un mismo individuo con análisis no secuenciados, generan resoluciones temporales bajas. Balasse *et al.* (2003:208) analizando la secuencia completa de la altura de la corona de segundos o terceros molares consiguen resoluciones medias representando periodos casi anuales. Finalmente, Kohn *et al.* (1998:101) consigue altas resoluciones temporales analizando en secuencia diferentes piezas dentarias de mismos individuos.

EJEMPLO DE INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN RESTOS DE FAUNA DE TELL HALULA (VALLE MEDIO DEL EUFRATES, SIRIA) 7800 – 7300 CAL ANE

Los trabajos que se presentan a continuación se han desarrollado en el marco de investigación arqueológica del yacimiento neolítico de *tell Halula* (Departamento de Rakka, Siria). El yacimiento se ubica en el margen izquierdo del río Éufrates, área sumamente interesante para el estudio del origen de las primeras sociedades campesinas en la zona del Levante Oriental. Presenta un intervalo de ocupación entre el 7800 y el 5900 cal ANE, correspondiente a los horizontes culturales PPNB o *Neolítico precerámico medio, reciente,* y *Neolítico Cerámico* (Molist, 1996; Molist 2001a, 2001b; Molist et Saña, 2003). Las ocupaciones correspondientes al PPNB reciente presentan recurrencias significativas por lo que respecta a la construcción y organización del espacio habitado (Molist, 2001a). Los análisis arqueozoologicos llevados a cabo hasta el momento ponen de relieve cambios significativos en la gestión de los bóvidos durante estas ocupaciones, algunos de los cuales podrían estar relacionados con el proceso de domesticación animal de esta especie (Saña, 1997, 1999, 2001).

Con el objetivo de aplicar la propuesta metodológica anteriormente expuesta, se ha realizado el análisis de un conjunto de restos de *Bos sp.* recuperados en los niveles de ocupación entre el 7700 – 7300 cal ANE. Tres de ellos pertenecen a niveles de ocupación en los que se documenta de forma efectiva la presencia de bóvidos domésticos (individuos *Bos01, Bos04 y Bos05).* El cuarto ejemplar pertenece a un nivel previo *(Bos02).* Los datos relativos a su relación y asociación con el intervalo temporal y contexto espacial de recuperación se expresan en la Tabla general (Figura 2). Para cada uno de los restos se han obtenido muestras secuenciadas cada 2 mm permitiéndonos representar intervalos temporales muy concretos de la vida de los individuos a partir del recuento de los valores δC^{13} y δO^{18}.

METODOLOGÍA

Las piezas dentales seleccionadas corresponden a terceros molares inferiores de *Bos sp.* de diferentes individuos. La selección del tercer molar inferior responde a el hecho de que es posible representar en él secuencias temporales más dilatadas atendiendo al periodo de formación del esmalte dentario. Éste se

1. Existe una primera aplicación de esta aproximación anterior pero realizada a partir de la dentina de elefantes aprovechando sus enormes dimensiones. Fue realizada por Paul Koch *et al.* (1989) y por ello se le considera el padre de la inventiva.

desconoce con exactitud, si bien estudios experimentales (Brown *et al.,* 1960) y trabajos a partir de restos arqueológicos y paleontológicos permiten inferir representaciones de intervalos temporales no inferiores a un año y no superiores al año y medio (Bryant *et al.,* 1996a, 1996b). La selección de terceros molares inferiores y no superiores ha sido también para el caso de *tell Halula* obligada dado el reducido número de restos maxilares.

Nº muestra laboratorio	Sector	Cuadro	Unidad	Fase Ocupación	Asignación cronológica	Fracción	Dentició	Lateralidad	Max long. lobulo	Punto de obtención desde el cuello (mm)	Valores $\delta^{13}C_{V-PDB}$‰	Valores $\delta^{18}O_{V-SMOW}$‰
Bos - 01	IV	D	H1	9	PPNBrecent	m3	Inferior	izquierdo	56,48	47,94	-7,2	26,7
										36,04	-8,1	25,2
										30,57	-7,9	25,1
										24,94	-7,6	25,5
										19,47	-6,7	26,5
										14,96	-7	25,9
Bos - 02	IV	B	D1a	7	PPNBrecent	m3	Inferior	derecho	55,5	47,04	-13	-
										33,85	-12,9	22,4
										26,9	-12,1	23
										19,72	-12	24,6
										14,85	-11,9	25,2
										10,91	-12,1	24,6
Bos - 04	IV	G	A4	11	PPNBrecent	m3	Inferior	derecho	50,97	42,15	-9,4	23,4
										31,1	-9,2	24,8
										23,37	-8,9	25,7
										18,12	-8,4	26,4
										11,67	-8,4	25,1
										6,5	-9,1	23,8
Bos - 05	IV	I	B2	12	PPNBrecent	m3	Inferior	derecho	47,56	38,87	-9,7	25,5
										32,65	-10,2	25,6
										26,49	-10,2	26,2
										20,94	-10,4	26,4
										14,73	-9,8	27,5
										9,81	-9,3	27,4

Figura 2. Tabla resumen de los datos relativos a los restos analizados, el punto de obtención de la muestra respecto en mm y los valores $\delta C^{13}{}_{V\text{-}PDB}$ (‰) y $\delta O^{18}{}_{V\text{-}SMOW}$ (‰) obtenidos.

La obtención de la muestra se ha realizado con la ayuda de un eje motriz de mano con fresa adiamantada incorporada (Figura 3). La recolección de la muestra en polvo una vez pesada se introdujo en un tubo *Ependorf* en el que se ha realizado el pretratamiento químico adecuado con el objetivo de eliminar los posibles carbonatos añadidos a la muestra.

Este proceso ha seguido los protocolos estándares establecidos (Lee-Thorp & van der Merwe, 1987:713), añadiendo algunas ligeras modificaciones de acuerdo a recientes correcciones de Koch *et al.* (1997:422) y Balasse *et al.* (2002:919-921).

Se analizaron muestras con pesos no inferiores a 2mg y se recontaron las relaciones isotópicas a través del Espectrómetro de Masas *Europa Scientific 20-20 IRMS.* en *Iso-Anlytical Laboratory* (Inglaterra).

Durante la secuencia de análisis de los valores se intercalaron los controladores NBS-18 y NBS-19 además de una muestra de carbonato de calcio (IA-R022) del propio laboratorio. La lectura de las concentraciones demuestra una desviación en los resultados no superior a 0,08‰ para el caso de los valores δC^{13} y una desviación de 0,010‰ para el caso de los valores δO^{18}. Los resultados son expresados en valores delta (δ) y en ‰ acorde a la corrección de los estandars V-PDB *(Viena Pee Dee Belemite)* para las concentraciones C^{13}/C^{12} y V-SMOW *(Viena – Standard Mean Ocean Water)* para las concentraciones O^{18}/O^{16} siguiendo la relación establecida: $\delta=[(R_{muestra}/ R_{estandar})-1]x1000$.

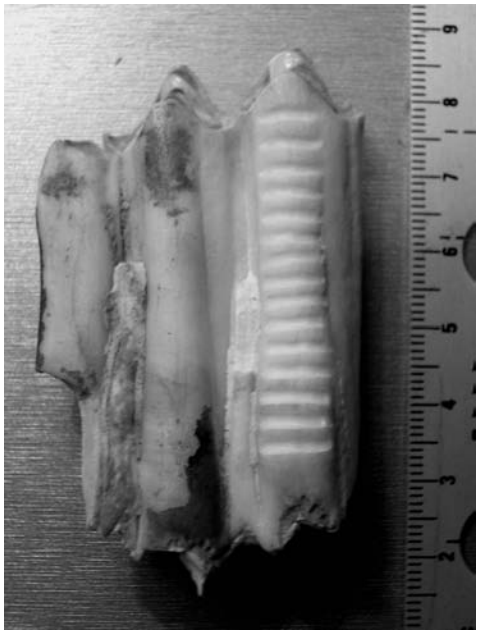


Figura 3. Fotografía de un tercer molar inferior de bóvido utilizado para el análisis secuencial.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos son expresados en la Tabla general (Figura 2). La media obtenida para los valores δC^{13} es de -9,64‰ (min =-13‰ y max=-6,7‰). La media obtenida para los valores δO^{18} es de 25,32‰ (min=.22,4.‰ y max=27,5‰). Los resultados presentan una variabilidad intraindividual entre -1‰ y -1,4‰ para el caso de los valores δC^{13} y una variabilidad entre 1,6‰ y 3‰ para los valores δO^{18}.

La representación de los valores δC^{13} acorde a la ubicación del punto de obtención de las muestras para cada uno de los individuos muestra la existencia de diferencias significativas genéricas entre los individuos analizados. Los individuos Bos01, Bos04 y Bos05 se ubican en valores δC 13 entre -6,7‰ y -10,4‰, mientras que el individuo Bos02 presenta valores entorno entre -11,9‰ y -13‰ (Figura 4).

La representación de los valores δO^{18} presenta una dinámica diferente. La ubicación del punto de obtención de las muestras para cada individuo no supone en este caso diferencias a nivel interindividual. Por el contrario, se observa como los valores δO^{18} más positivos de cada una de las secuencias para cada individuo se ubican a una distancia similar desde el cuello (en mm). Estos valores representan intervalos temporales con temperaturas relativamente altas (Figura 5).

En nuestra opinión, estos resultados, y anteponiendo la necesidad urgente de aumentar el número de muestras existente hasta el momento, permiten plantear algunas hipótesis interesantes relativas a las modalidades de gestión de esta especie animal. De forma concreta, los diferentes resultados obtenidos entre los ejemplares pueden estar diferenciando entre la actividad ganadera y las prácticas cinegéticas. Los valores δC^{13} presentarían entonces rangos distintos entre las poblaciones salvajes y domésticas. Por el contrario, la no variabilidad de los valores δO^{18} a nivel interindividual pero sí la repetición de dinámicas estacionales similares entre los individuos analizados podría estar vinculada a la reproducción en momentos similares (o idénticos) tanto para los uros salvajes como para las primeras cabañas de bueyes domésticos.

De verificarse esta hipótesis, la propuesta metodológica implementada supondría una aportación válida para el estudio, a nivel general, de los cambios en la gestión animal derivados de la domesticación y primeras experiencias ganaderas, constituyendo una vía de análisis alternativa no centrada de forma exclusiva sobre las características morfológicas y biométricas de los restos de fauna.

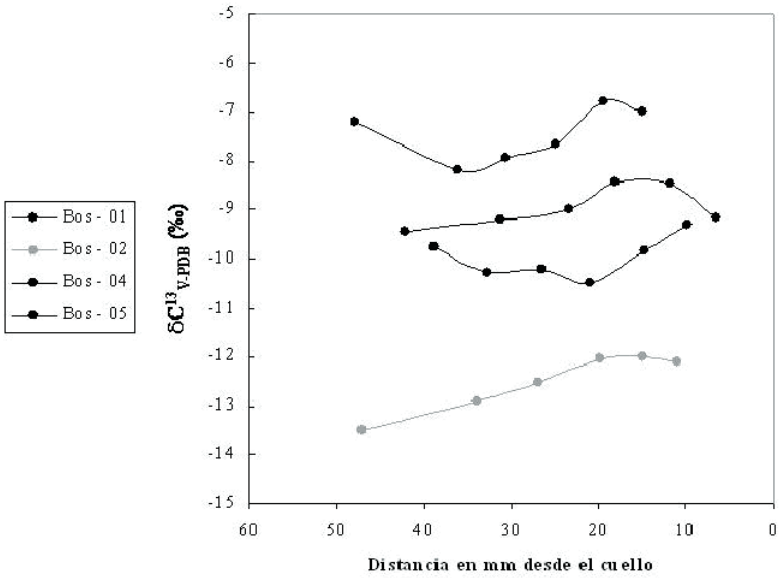


Figura 4. Representación en secuencia de los Valores δC^{13} de los cuatro individuos *Bos sp.* analizados.

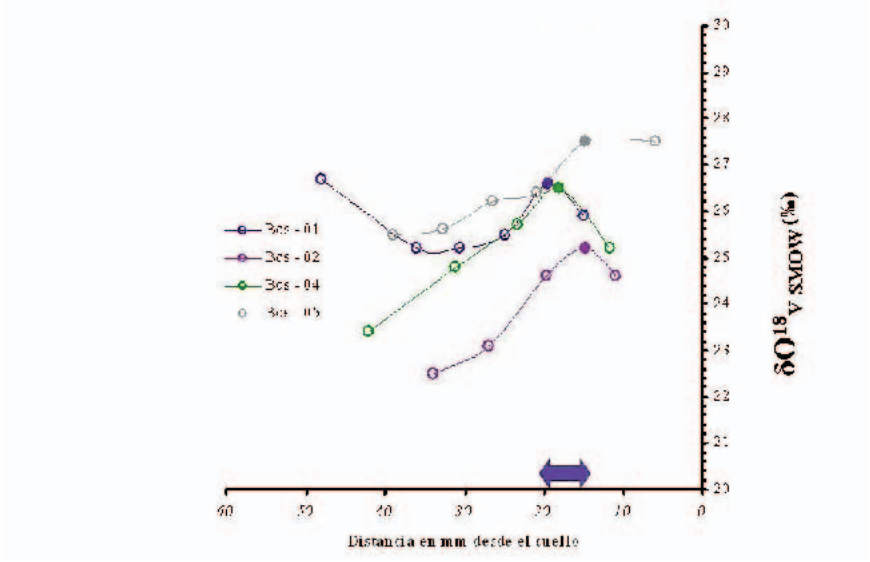


Figura 5. Rerpresentación de los valores δO^{18} de *Bos sp.* analizados.

La realización de análisis secuenciales para las diferentes especies que componen las cabañas de animales domésticos en *tell Halula* para el intervalo cronológico analizado y la valoración conjunta de la variabilidad registrada para cada especie y individuo de los valores de carbono y de oxígeno deberá permitir al final incidir en cuestiones como la alimentación suplementaria de los rebaños, el control en la reproducción o los movimientos de desplazamiento implicados durante los primeros estadios de configuración de las estrategias ganaderas. Estas cuestiones serán abordas de forma definitiva en la consecución de un trabajo tipo Tesis Doctoral.

CONSIDERACIONES FINALES

La integración del análisis de ratios de isótopos estables en arqueología supone una nueva herramienta para el conocimiento de las formaciones sociales del pasado (Tornero y Saña, 2007). Es obvio que no es un proyecto fácil en tanto que como se ha puesto de manifiesto, son muchos y arduos los aspectos que, tanto a nivel metodológico como técnico, deben ser considerados. Si bien es un procedimiento complejo, éste conlleva al mismo tiempo, toda una serie de ventajas al permitir abordar problemáticas difícilmente accesibles a partir de otros métodos y técnicas aplicadas hasta el momento al análisis del registro arqueológico. Para el caso de los restos de fauna recuperados en los yacimientos arqueológicos, además de facilitar la comparción entre intervalos temporales y contextos espaciales diferentes, abre la posibilidad de correlacionar los valores obtenidos con determinadas características de los animales tales como la edad, el sexo, presencia de patologías…, aspectos que correlacionados con la estratégia de muestreo, permitirán realizar aproximaciones de alta resolución temporal.

A partir del ejemplo presentado, se han puesto de manifiesto las posibiliades y las ventajas de trabajar con restos dentarios de formación hipsodonta y a partir de la bioapatita del esmalte dentario. En este sentido, es obvio que aún se desconocen exactamente los procesos de formación de este tejido y como éstos deben interpretarse en secuencias consecutivas de análisis (Passey et Cerlin, 2002; Zazzo *et al.,* 2006), pero también es cierto que en un futuro se podrán correlacionar de forma más precisa los cambios observados en las secuencias isotópicas con los "ritmos" de mineralización del esmalte, sobre todo a partir del desarrollo de espectrómetros de masa más precisos, exactos y resolutivos, hoy en día en proceso de experimentación (ver Ambrose, 2006).

Ante estas nuevas "épocas" habrá que estar preparado, y no nos referimos únicamente al desarrollo del conocimiento técnico necesario. Será necesaria una capacidad para evaluar a nivel temporal, espacial pero también social, la representatividad de los datos obtenidos, si lo que se persigue es obtener información relevante y básica para el conocimiento y estudio de las formaciones sociales objeto de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer la posibilidad que nos han brindado diferentes centros de investigación para realizar este trabajo y principalmente la colaboración, la discusión y el tiempo que nos han brindado Jean-Denis Vigne y Marie Balasse del centro CNRS - *Archéozoologie, Histoire des Sociétés humaines et des Peuplements animaux del Muséum national d'Histoire naturelle.* Paris, Francia; y Doug Price, James Burton y David Meigs del *Laboratory of Archaeological Chemistry, Department of Anthropology. University of Wisconsin-Madison,* Estados Unidos. Estas colaboraciones difícilmente hubieran sido posibles sin la obtención a concurso de las Estancias Breves en 2006 y 2007 concedidas por el Ministerio de Educación y Ciencia (ESTFPI2006-024 y ESTFPI2007-035). Por último, expresar nuestro agradecimiento a Ignacio Montero y a toda la organización del *VII Congreso Ibérico de Arqueometría* por hacer posible el evento.

REFERENCIAS

AMBROSE, S. 2006: "A tool for all seasons". *Science* 314 (5801):930-931.

AMBROSE, S.H. & NORR, L. 1993: "Experimental evidence fort he relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate". En: Lambert, J.B. et Grupe, G. (eds). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level.* Springer-Verlag. Berlin: 1-37.

AYLIFFE, L.K.; CHIVAS, A.R. & LEAKEY, M.G. 1994: "The retention of primary oxygen isotope compositions of fossils elephant skeletal phosphate". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54:5291-5298.

BALASSE, M. 2003: “Potential biases in sampling design and interpretation of intra-tooth isotope analysis”. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:3-10.

BALASSE, M.; BOCHERENS, H. & MARIOTTI, A. 1999: “Intra-bone variability of collagen and apatite isotopic compositio used as evidence of a change of diet”. *Journal of Archaeological Science* 26:593-598.

BALASSE, M.; AMBROSE, S.H.; SMITH, A.B. & PRICE, T.D. 2002: “The Seasonal Mobility Model for Prehistoric Herders in the South-western Cape of South Assessed by Isotopic Analysis of Sheep Tooth Enamel”. *Journal of Archaeological Science* 29:917-932.

BALASSE, M.; SMITH, A.B.; AMBROSE, S.H. & LEIGH, S.R. 2003: “Determining Sheep Birth Seasonality by Analysis of Tooth Enamel Oxygen Isotope Ratios: The Late Stone Age Site of Kasteelberg (South Africa)”. *Journal of Archaeological Science* 30: 205-215.

BALASSE, M. & AMBROSE, S. 2005: “Distinguishing sheep an goat using dental morphology and stable carbon isotopes in C_4 grassland environments”. *Journal of Arcahaeological Science* 32:691-702.

BENTLEY, A. 2006: “Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review”. *Journal of Archaeological Method and Theory,* en prensa.

BOCHERENRS, H.; KOCH, P.L.; MARIOTTI, A.; GERAADS, D. & JAEGER, J-J. 1996: “Isotopic Biogeochemistry (^{13}C, ^{18}O) of Mammalian Enamel from African Pleistocene Hominid Sites”. *Palaios* 11:306-318.

BROWN, A.B. 1973: *Bone strontium content as a dietary indicator in human skeletal populations.* Ann Arbor. University of Michigan. Unpublished Ph.D Thesis.

BROWN, A.B. 1974: “Bone strontium as a dietary indicator in human skeletal populations”. *Contrib. Geol.* 13:47-48.

BROWN, W.A.B.; CHRISTOFFERSON, D.V.M.; MASSLER, M. & WEISS, M.B. 1960: “Postnatal tooth development in cattle”. *American Journal of Veterinary Research* XXI (80):7-34.

BRYANT, J.D.; KOCH, P.L.; FROELICH, P.N.; SHOWERS, W.J. & GENNA, B.J. 1996a: “Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60:5145- 5148.

BRYANT, J.D.; FROELICH, P.N.; SHOWERS, W.J. & GENNA, B.J. 1996b: “Biologic and climatic signals in the oxygen isotopic composition of Eocene-Oligocene equid enamel phosphate”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126:75-89.

CARTER, G.F. 1978: “Archaeological Chemistry –II”. *Advances in Chemistry Series* 171: 389.

CERLING,T.E.; HARRIS, J.M.; AMBROSE, S.H.; LEAKEY, M.G. & SOLOUNIAS, N. 1997: “Dietary and environmental reconstruction with stable isotope analyses of hervibore tooth enamel from the Miocene locality of Fort Ternan, Kenya”. J*ournal of Human Evolution* 33:635-650.

CERLING, T.E. & HARRIS, J.M. 1999: “Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies”. *Oecologia* 120:347-363.

CLEMENTZ, M.T.; HOLDEN, P.; KOCH, P.L. 2003: “Are calcium isotopes a reliable monitor of trophic level in marine settings”. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:29-36.

COPLEY, M.S.; JIM, S.; JONES, V.; ROSE, P.; CLAPHAM, A.; EDWARDS, D.N.; HORTON, M.; ROWLEY-CONWY, P.; EVERSHED, R.P. 2004: “Short-and long term foraging and foddering strategies of domesticated animals from Qasr Ibrim Egypt”. *Journal of Archaeological Science* 31:1273-1286.

GADBURY, C.; TODD, L.; JAHREN, A.H.; AMUNDSON, R. 2000: “Spatial and temporal variations in the isotopic compositions of bison tooth enamel from Early Holocene Hudson-Meng Bone Bed, Nebraska”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 157:79-93.

GARCIA, E.; SUBIRA, M.E.; RICHARDS, M.P. 2004: “Régime et société d’après l’analyse des isotopes stables: l’exemple de la population de “Can Reinés” (Mallorca, Espagne, 600 ap. J.C.)” *Antropo* 7:171-176.

GILBERT, R.I. 1975: *Trace element analyses of three skeletal Amerindian populations at Dickson Mounds.* Amherst. University of Massachusetts. Unpublished Ph.D Thesis.

GOFFER, Z. 1980: *Archaeological Chemistry., A sourcebook on the applications of Chemistry to Archaeology.* A Weley-Interscience Publication. USA.

HILLSON, S. 2005: *Teeth. Cambridge manuals in Archaeology.* Cambridge University Press. Second Edition.

KAVANAUGH, M. 1979: *Strontium in bone as a dietary indicator.* University of Wisconsin-Madison. Tesis Doctoral. Trabajo inédito.

KOCH, P.; TUROSS, N.; FOGEL, M.L. 1997: “The Effects of Samples Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite”. *Journal of Arcgchaeological Science* 24: 417-429.

KOHN, M.J. 1999: “Biochemistry enhanced: you are what you eat”. *Science* 283:335-336.

KOHN, M.J.; SCHOENINGER, M.J.; VALLEY, J.W. 1998: “Variability in oxygen isotope compositions of herbivore teeth: reflections of seasonality or developmental physiology?”. *Chemical Geology* 152:97-112.

KOHN, M.J.; SCHOENINGER, M.J.; BARKER, W.W. 1999: “Altered states: effects of diagenesis on fossil tooth chemistry”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63:2737-2747.

LAMBERT, J.B.; SZPUNAR, C.B.; BUIKSTRA, J.E. 1979: “Chemical analysis of excavated human bone from Middle and Late Woodland sites”. *Archaeometry* 21:403-416.

LEE-THORP, J.A; 2002: Two decades of progress towards understanding fossilization processes and isotopic signals in calcified tissue minerals., *Archaeometry* 44: 435-446.

LEE-THORP, J.A.; VAN DER MERWE, N. 1987: “Carbon isotope analysis of fossil bone apatite”. *South African Journal of Science* 83:712-715.

LEE-THORP, J.A. ET VAN DER MERWE, N. 1989: “Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet”. *Journal of Archaeological Science* 16:343-354.

LEVEY, M. 1967: *Archaeological chemistry. A symposium.* Philadelphia, University of Pennsylvania Press. 365pp.

MÁRQUEZ-GRANT, N.; FULLER, B.T.; RICHARDS, M.P. 2003: “Análisis preliminar de patrones de dieta en restos humanos de la Isla de Ibiza a partir del contenido de isótopos estables de carbono, nitrógeno y azufre”. En Aluja, M.P.; Malgosa, A.; Nogués, R.M. (eds.). *Antropología y Biodiversidad,* edicions Bellaterra: 352-359.

MOLIST, M. (Ed.). 1996: *Tell Halula (Siria). Un yacimiento neolítico del valle medio del Eufrates. Campañas de 1991 a 1992.* Ministerio de Educacion y Cultura. Madrid.

MOLIST, M. 2001a: “Halula, village néolithique en Syrie du Nord”. Guilaine, J. (ed.). *Communautés villageoises du Proche-Orient à l’Atlantique (8000-2000 avant notre ère).* Séminaire du Collège de France. Éditions errance: 35-52.

MOLIST, M. 2001b: “Novedades en la investigación de los orígenes de las sociedades agrícolas en el Próximo Oriente: el medio Eufrates sirio y su rol en el proceso de neolitización”. *Monografies Eridu* 1:173-187.

MOLIST, M. ET SAÑA, M. 2003: “Tell Halula, en los orígenes de las sociedades campesinas en el Valle del Eufrates”. *Jornadas Temáticas Andaluzas de Arqueología:* 211-249.

MONTGOMERY, J.; BUDD, P.; EVANS, J. 2000: “Recosntructing the lifetime movements of ancient people: a neolithic case study from southern England”. *European Journal of Archaeology* 3:370-385.

MOORE, A. 1982: “A four-stage sequence for the Levantine neolithic, ca. 8500-3750”. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 246:1-34.

NIELSEN-MARSH, C.M. ET HEDGES, R.E.M. 2000: “Patterns od diagenesis in bone I: the effects of site environments”. *Journal of Archaeological Science* 27:1139-1150.

PASSEY, B. & CERLING, T.E. 2002: “Tooth enamel mineralization in ungulates: implications for recovering a primary isotopic time-series”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66:3225-3234.

PASSEY, B.; ROBINSON, T.; AYLIFFE, L.; CERLING, T.; SPONHEIMER, M.; DEARING, D.; ROEDER, B. & EHLERINGER, J. 2005: “Carbon isotope fractionation between diet, breath CO_2, and bioapatite in different mammals”. *Journal of Archaeological Science* 32:1459-1470.

QUADE, J.; CERLING, T.E.; MORGAN, M.M.; PILBEAM, D.R.; BARRY, J.; CHIVAS, A.R.; LEE-THORP, J.A & VAN DER MERWE, N.J. 1992: “A 16 million year record of paleodiet using carbon and oxygen isotopes in fossil teeth from Pakistan”. *Chem. Geology (Iso. Geosci. Sect.)* 94:183-192.

RICHARDS, M.P.; FULLER, B.F.; SPONHEIMER, M.; ROBINSON, T. & AYLIFFE, L. 2003: “Sulphur isotopes in Palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment”. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:37-45.

SAÑA, M. 1997: *Recursos animals i societat del 8800 BP al 7000 BP a la vall mitjana de l’Eufrates: dinàmica del procés de domesticació animal.* Departament d’Antropologia Social i Prehistòria. Universitat Autònoma de Barcelona, Spain. Trabajo inédito.

SAÑA, M. 1999: “Arqueología de la domesticación animal. La gestión de los recursos animales en Tell Halula (Valle del Éufrates-Siria) del 8800 al 7000 BP”. *Treballs d’Arqueologia del Pròxim Orient, 1.* Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

SAÑA, M. 2001: *Dynamique de processus de domestication animale d’après le site neolithique de tell Halula (Vallée de l’Euphrate, Syrie).* IV[a] ASWAD, Paris, 1998. Univ. Paris I.

SCHOELLER, D.A. 1999: “Isotope fractionation: Why aren’t we what we eat?”. *Journal of Archaeological Science* 26:667-673.

SCHOENINGER, M.J.; HALLIN, K.; REESER, H.; VALLEY, J.W. & FOURNELLE, J. 2003: “Isotopic alteration of mammalian tooth enamel”. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:11-19.

SCHWEISSING, M.M. & GRUPE, G. 2003: “Tracing migration events in man and cattle by stable stronium isotope analysis of appositionally grown mineralized tissue”. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:96-103.

SEALY, J.C.; ARMSTRONG, R. & SCHRIRE, C. 1995: “Beyond lifetime averages: tracing life histories throught isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons”. *Antiquity* 69:290-300.

SHARMA, S.; JOACHIMSKI, M.M.; TOBSCHALL, H.J.; SINGH, I.B.; TEWARY, D.P. & TEWARY, R. 2004: “Oxygen isotopes of bovid teeth as archives of paleoclimatic variations in archaeological deposits of the Ganga plain, India”. *Quaternary Research* 62:19-28.

SPONHEIMER, M. & LEE-THORP, J.A. 1999a: “Oxygen Isotopes in Enamel Carbonate and their Ecological Significance”. *Journal of Archaeological Science* 26:723-728.

SPONHEIMER, M. & LEE-THORP, J.A. 1999b: “Alteration of enamel carbonate environments during fossilitzation”. *Journal of Archaeological Science* 26:143-150.

SULLIVAN, C.H. & KRUEGER, H.W. 1981: “Carbon isotope analysis in separate chemical phases in modern and fossil bone”. *Nature* 292:333-335.

TIESZEN, L.L. 1991: “Natural variations in the carbon isotope values of plants: Implications for archaeology, ecology, and paleoecology”. *Journal of Archaeological Science* 18:227-248.

TIESZEN, L.L. & FAGRE, T. 1993: “Effect of diet quality on the isotopic composition of respiratory CO_2, bone collagen, bioapatite and soft tissues”. Lambert, J.B. et Grupe, G. (eds). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level.* Springer-Verlag. Berlin:121-155.

TORNERO, C. & SAÑA, M. 2007: “Anàlisi d’isòtops estables en arqueologia: aplicación i integración a la recerca arqueològica”. *Cota Zero* 21:31-46.

TYKOT, R.H. 2004: “Stable isotopes and diet: You are what you eat”. Martini, M.; Milazzo, M. et Piacentini, M. (eds.). *Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course CLIV.* IOS Press. Amsterdam: 433-444.

VAN DER MERWE, N. 1982: “Carbon isotopes, Photosynthesis and Archaeology”. *American Scientist* 70:596-606.

VAN DER MERWE, N.J. ET VOGEL, J.C. 1978: “^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America”. *Nature* 276:815-816.

VOGEL, J.C. 1978: “Isotopic assessment of dietary habits of ungulates”. *South African Journal of Science* 74:298-301.

VOGEL, J.C. & VAN DER MERWE, N.J. 1977: “Isotòpic evidence for early maize cultivation in New York state”. *American Antiquity* 42:238-242.

WANG, Y. & CERLING, T.E. 1994: “A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107:281-289.

ZAZZO, A.; MARIOTTI, A.; LÉCUYER, CH. & HEINTZ, E. 2002: “Intra-tooth isotope variations in late Miocene bovid enamelñ from Afghanistan: paleobiological, taphonomic, and climatic implications”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186:145-161.

ZAZZO, A.; BALASSE, M. & PATTERSON, W.P. 2006: “The reconstruction of mammal individual history: refining high-resolution isotope record in bovine tooth dentine”. *Journal of Archaeological Science* 33:1177-1187.

APORTACIONES AL ESTUDIO DEL PAISAJE VEGETAL Y LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EN TELL HALULA (VALLE MEDIO DEL RÍO ÉUFRATES, SIRIA) DURANTE EL 7800-7000 CAL ANE: VALORES δC^{13} Y δO^{18} DEL CO_3 DE LA BIOAPATITA DEL ESMALTE DENTARIO DE GAZELLA SUBGUTTUROSA

$\delta^{13}C$ AND $\delta^{18}O$ RESULTS FROM BIOAPATITE ENAMEL OF GAZELLE (GAZELLA SUBGUTTUROSA) IN PPNB TELL HALULA SITE (SYRIA, MIDDLE EUPRATHES VALLEY) DURING 7800-7000 CAL BC: CLIMATIC CONDITIONS AND VEGETAL LANDSCAPE DATA

CARLOS TORNERO, MARIA SAÑA

Laboratori d'Arqueozoologia, Departament de Prehistòria. , Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici-B. Campus de la UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Carlos.Tornero@uab.cat, Maria.Sana@uab.cat.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de los isótopos estables δC^{13} y δO^{18} en un conjunto de restos de gacelas *(Gazella subgutturosa)* recuperados en el yacimiento arqueológico de *Tell Halula* (valle Medio del Éufrates, Siria) asociados a un intervalo temporal entre el 7800 y 7000 cal ANE. El análisis se ha desarrollado a partir del CO_3 de la bioapatita del esmalte y para ello se ha elaborado un diseño de estrategia de muestreo propio, en el que se han considerado tanto los protocolos de obtención y preparación de las muestras como las características biogeoquímicas del tejido a analizar. Se ha tenido en cuenta para esto la información arqueozoológica y etológica de las gacelas. Los resultados permiten considerar la hipótesis de condiciones más húmedas y temperaturas más bajas que las existentes en la actualidad así como la existencia de una principal estepa herbácea de tipo C_3 para el área de estudio.

ABSTRACT

The results for the analysis of stable isotopes $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ from a set of gazelle (Gazella subgutturosa) remains from the Tell Halula (Middle Euphrates Valley, Syria) archaeological site, dated to the period 7800-7000 BC, are presented. The study has been developed out of the CO_3 from the bioapatite enamel, with the elaboration of a particular sampling strategy, where the protocols of sample extraction and preparation, as well as the biogeochemical features of the tissue to be analysed, have been taken into account. To this end, the archaeozoological and ethological information for the gazelles has been considered. The results allow for the consideration of an hypothesis of conditions of higher humidity and lower temperatures than those prevalent nowadays, as well as for the existence of a main grassland steppe of C_3 type for the area of study.

Palabras clave: Tell Halula, gacelas, esmalte, bioapatita, δC^{13}, δO^{18}, paisaje vegetal y condiciones climáticas, Neolítico, PPNB.

Key words: *Tell Halula, gazelle, enamel, bioapatite, $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, vegetal landscape, climate conditions, Neolithic, PPNB.*

1. INTRODUCCIÓN

Tell Halula es un yacimiento arqueológico en el valle medio del Éufrates (Departamento de Rakka, Siria). Presenta una secuencia de ocupación casi continuada entre el 7800 hasta el 5900 cal ANE (Molist, 1996; Molist, 2001a; Molist et Saña, 2003). Las Fases de Ocupación 1 a 19 corresponden al horizonte *neolítico precerámico* mientras que las FO 20 a 37 son representativas del *neolítico cerámico,* si bien también se han documentado algunos materiales que evidencian una ocupación durante periodo Obeid (Molist, 2001a, 2001b). El yacimiento se inscribe en el marco geográfico y la orografía del terreno definido por el propio curso del río Éufrates para el noroeste de Siria y supone un área de estudio particularmente significativa dado el elevado número de asentamientos documentados y de estudios arqueológicos realizados en yacimientos como *tell Mureybet, Abu Hureyra, Dja'de,* o *Jerf el Ahmar* además del mencionado *tell Halula,* y que en conjunto cubren un intervalo temporal entre el 10500 cal ANE hasta el 6500 cal ANE (Molist, 2001a:35) (Figura 1).

Figura 1. Mapa ubicación geográfica del yacimiento arqueológico de *tell Halula* y su emplazamiento respecto a otros yacimientos con periodos de ocupación similares.

Resultados previos del estudio arqueozoológico para *tell Halula* muestran una alta representación de especies asociadas a medios boscosos *(wood-species)* en la primera parte de la secuencia y una alta representación de especies asociadas a medios más áridos *(aridity species)* para las fases finales de ocupación (Saña, 1997, 1999, 2001) (Figura 2). Este cambio observado en la secuencia se ha puesto en relación con un cambio de las condiciones medioambientales aproximadamente entorno el 7000 cal ANE, principalmente caracterizado por un proceso de aridización y aumento de las temperaturas (Street et Grove, 1976; Rossignol-Strick, 1995; Petit-Maire et Guo, 1996; Bar-Matthews *et al.,* 1999; Schilman *et al.,* 2001).

Con el objetivo de evaluar las condiciones medioambientales existentes con anterioridad al *cambio* se han estudiado los restos de gacelas recuperados en los niveles correspondientes a la secuencia previa 7800-7000 cal ANE, y se han analizado los ratios de los isótopos estables del carbono C^{13}/C^{12} y del oxígeno O^{18}/O^{16}.

Tanto para la selección de los restos como para la interpretación final de los valores, se ha llevado a cabo previamente una recopilación de la información existente sobre el estado actual de conocimiento sobre las gacelas en el Próximo Oriente centrada principalmente en dos líneas de investigación: la etológica y la arqueológica. La información etológica ha aportado todo un conjunto de datos principalmente de tipo alimentario, reproductivo y fisiológico, que han permitido, en la consecución del trabajo, concretar más la interpretación de los resultados de los isótopos estables recontados. Los datos arqueológicos y arqueozoológicos se han tenido en cuenta a la hora de planificar la estrategia de muestreo.

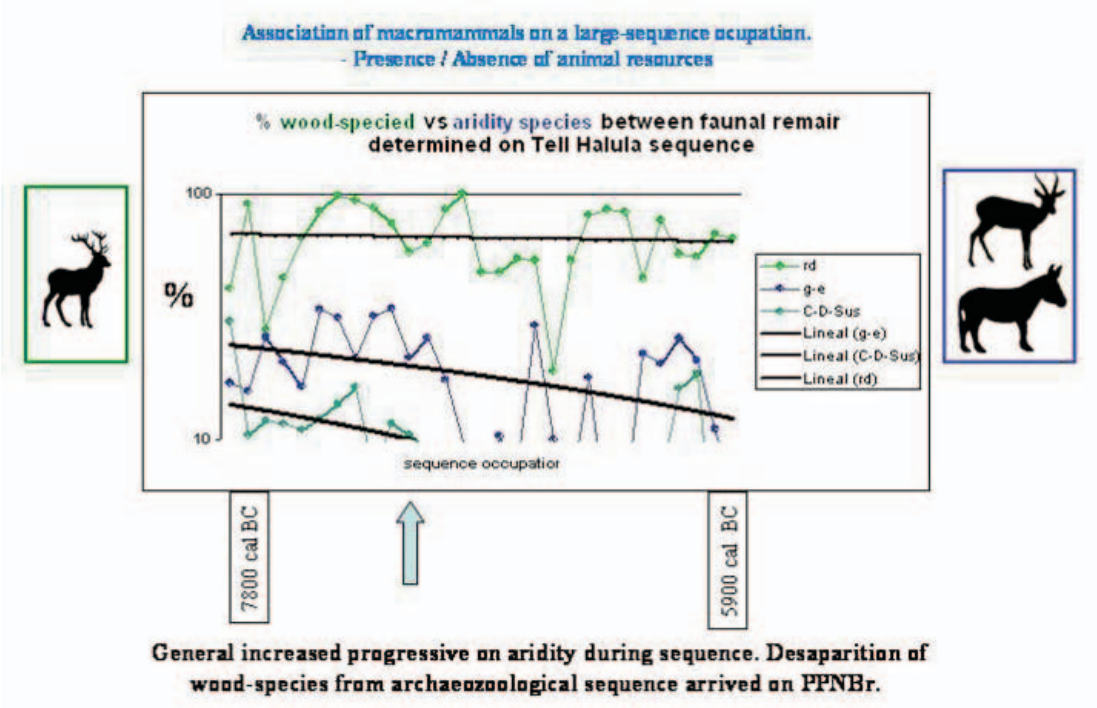


Figura 2. Representación de la tendencia observada a partir del análisis taxonómico de los restos de fauna recuperados en *tell Halula* durante toda su secuencia de ocupación (rd = restos determinados; g-e = especies asociadas a un medio árido; C-D-Sus = especies asociadas a medios boscosos).

2. CUESTIONES RELATIVAS A LA ETOLOGÍA DE LAS POBLACIONES NATURALES DE GACELAS

Los datos etológicos se han recogido con el objetivo de establecer un marco de referencia a partir del cual interpretar los valores isotópicos obtenidos en los restos de fauna analizados. En este línea, se han contemplado los campos de información relativos al comportamiento reproductivo (reproducción), estacional, social (movilidad) y alimentario (alimentación y ingesta de agua).

Los campos de datos referentes a las pautas de reproducción engloban aspectos concretos como el número de nacimientos por año, la estación y el periodo de nacimiento durante el ciclo anual, el periodo de gestación y el de amamantamiento; datos que nos permitirán establecer, dada la representación temporal del periodo de formación del tipo de resto y tejido que analizamos, el momento de fijación de las concentraciones isotópicas. El campo de datos referente a las pautas alimentarias nos ayudará a interpretar de forma más concreta los valores representativos del tipo de recurso vegetal consumido por los individuos analizados y los regimenes de ingesta de agua nos permitirán ajustar las correlaciones entre los valores isotópicos de los tejidos y los del agua absorbida.

Por último, los datos relativos a las pautas de movilidad observadas nos ayudarán también a definir y explicar la variabilidad observada en las concentraciones isotópicas entre los diferentes individuos analizados. Es obvio pero, y tal y como se entiende en el desenlace del trabajo, que los datos recogidos son sólo meros indicadores, un reflejo, dado similares a las condiciones observadas en el presente no tienen por qué ser fieles a las del pasado.

El género gacela es hoy en día todavía presente en algunas regiones y centros controlados del Próximo Oriente[1]. Es también uno de los ungulados que no ha perdido su condición y no ha pasado a vivir y reproducirse sometido a las necesidades humanas. No obstante sus regimenes naturales, disponibilidad espacial del territorio y recursos, se han visto mermados por la acción antrópica y la devastadora expansión de las sociedades humanas, principalmente recientemente a través de la competición por los recursos con las especies domésticas (Thesiger, 1959; Campos-Arceiz *et al.,* 2004:458), y por la caza desmedida y acciones furtivas (Dunham *et al.,* 1993).

Dinámica de los ciclos reproductivos

Las gacelas en general, y al igual que ocurre para la categoría de ungulados, presentan un único ciclo de reproducción al año. Si bien se trata de una característica que puede ser variable, no sólo entre especies sino también en función de las condiciones en las que se encuentren las hembras de un grupo. Para el caso que nos ocupa pero, Pereladova *et al.* (1998:581) reconocen el nacimiento de un solo individuo como más habitual, sobre todo para aquellas hembras que dan a luz por primer vez bajo condiciones pésimas en recursos alimentarios.

No obstante, no debiéramos olvidar que los ungulados en ocasiones tienen partos dobles, tal y como documentan diferentes trabajos (en *Gazella sp.:* Baharav, 1983; Loggers, 1992; en *Capreolus c.:* Mauget *et al.,* 1997). La estación nacimiento es aún más variable entre especies de gacelas. Muchas especies dan a luz en dos momentos durante el ciclo anual, y algunas especies indistintamente durante todo el año y de forma indiferente según la estación. Otras por el contrario, y concretamente para el caso que nos ocupa *(Gazella subgutturosa)* presentan un único momento de nacimiento observado por diferentes autores entre abril y mayo (Pereladova *et al.,* 1998:581; Sempéré *et al.,* 2001:57-58). El periodo de gestación y el periodo de lactancia son más homogéneos entre especies (Baharav, 1983; Dunham, 1997:207). Para el caso concreto de *Gazella subgutturosa* se han observado intervalos temporales de gestación alrededor de los 150 días (5-6 meses) y lactancias entre 65 y 80 días (Pereladova *et al.,* 1998:581) aunque ésta puede ser más larga, especialmente en momentos de nacimiento y zonas con menos facilidad para la obtención de recursos.

Pautas generales de alimentación

Las gacelas presentan principalmente una dieta herbácea. La información etológica consultada, y de forma concreta para la especie analizada, confirma una preferencia por un hábitat de tipo estepario con una predominancia por una dieta preferiblemente compuesta por recursos herbáceos y en menor medida arbustivos (Baharav, 1983; Martin, 2000; Campos-Arceiz *et al.,* 2004) demostrando además una preferencia por plantas tipo C_3 cuando éstas están disponibles (Cerling *et al.,* 1997:642; Geffen *et al.,*

1. Algunos programas pera la reintroducción de la gacela se han iniciado y se vienen desarrollando algunos centros. Por ejemplo, y el más grande de todos creado por la antigua Unión Soviética, el *Bukhara Breeding Center* en Uzbekistan (Pereladova *et al.,* 1998:578; Sempere *et al.,* 2001), también el *Hawtah Reserve* en Arabia Saudí (Dunham *et al.,* 1993; Dunham, 1997, 2000), o el *Tel Aviv University Research Zoo,* el *Hair Bar Game Reserve* y el *Ramat HaNadiv Park* en Israel (Ferguson, 1983:456; Geffen *et al.,* 1999:114).

1999:117). El estudio publicado por Baharav (1981) se centra exclusivamente en resolver esta problemática. El autor, a partir de la observación de un grupo de *G. gazella* en la zona de Galilea (Israel) evidencia los dos tipos de alimentación (de pasto y arbustiva) pero con una tendencia predominante a la alimentación de pasto.

Consumo de agua

Las gacelas acostumbran a incorporar gran parte de su aportación de agua a través de la ingesta vegetal. El agua consumida depende principalmente del contenido en agua de los recursos vegetales consumidos. Esta tendencia se reafirma de forma genérica dada la adaptabilidad de la especie a medios áridos y/o semiáridos, pero también por el hecho que las gacelas en cautividad y alimentadas con vegetales secos y pobres en aportación de agua aumentan el consumo de agua bebida (Ferguson, 1983; Geffen *et al.,* 1999). Para el caso de poblaciones en estado salvaje o en semicautividad, el trabajo de Dunham (1998a; 1998b) ha documentado a partir del control por registro digital de dos bebederos para diferentes grupos de gacelas *(Gazella gazella)* (n=40) en *Hawtah Reserve* (Arabia Saudita), el hecho de que durante los meses de agosto a noviembre de 1993 uno de los bebederos no fue usado en ningún momento mientras que el otro sólo fue usado por 12 individuos, de los cuales 10 solamente entre 1 y 3 ocasiones. El estudio de probabilidad demostró además cómo de estos individuos, el perfil de los que usaban el bebedero lo componían hembras de avanzada edad y que provenían de territorios[2] no lejanos a los bebederos (Dunham, 1998b:453).

Pautas generales de movilidad

Por último y en relación a las posibles pautas de movilidad seguidas por la especie, los datos etológicos consultados evidencian un área de dispersión reducida, con un grado de dispersión entre individuos y/o grupos de población muy variable y más complejo de lo que se suponía (Dunham, 2000:250-255), si bien el total de ésta no supera los 12,1 km^2. Otros autores también recogen movimientos más bien reducidos y asociados a estrategias vinculadas a los ciclos estacionales (Ferguson, 1983).

3. INFORMACIÓN ARQUEOZOOLÓGICA RELATIVA A LAS GACELAS

Los restos de gacela están presentes en la mayoría de yacimientos estudiados del Próximo Oriente y tienden a dominar la clasificación taxonómica especialmente para los registros comprendidos entre el 20000 cal ANE y el 6400 cal ANE, resultando probablemente uno de los ungulados más cazados en el área, conjuntamente con el gamo *(Dama mesopotamica)* en la franja mediterránea y los asnos salvajes *(Equus hemionus* y *Equus asinus)* en las estepas más interiores (Davis, 1982; Martin, 2000:13; Helmer, 2000; Gourichon, 2004:39).

En el yacimiento de *tell Halula* la explotación de gacela se documenta durante todas las fases de ocupación, presentando unos porcentajes de representación relativamente elevados, contemplándose la posibilidad de una representación de diferentes especies de gacela: *Gazella gazella, Gazella dorcas* y *Gazella subgutturosa.* Si bien no es posible diferenciar la totalidad de los restos entre les tres especies debido a la ausencia de indicadores morfológicos claros, sí ha sido posible evidenciar la presencia segura de

2. En el trabajo de Dunham (1998b) el concepto "territorio" hace referencia al área de dominio de un macho. Las hembras "pertenecen" a uno u otro territorio acorde a la forma de organización en el espacio de las poblaciones de gacela estudiadas. Esta definición es también utilizada en el trabajo de Geffen *et al.* (1999).

Gazella subgutturosa en base a la ausencia de cornamenta en los ejemplares femeninos (Saña, 1997:301). Complementariamente, los estudios osteobiométricos realizados muestran la existencia de una única población representada principalmente por *Gazella subgutturosa,* de características similares a la documentada en el yacimiento de Mureybet, donde predomina también esta especie (Saña, 1997:331; Ducos, 1978:61).

4. METODOLOGÍA

Criterios de selección de las muestras

El análisis se conforma a partir del carbonato de la bioapatita del esmalte dentario (Figura 3). El esmalte retiene los valores isotópicos del individuo en vida durante un periodo largo de tiempo y resulta resistente ante posibles alteraciones producidas por efectos de diagénesis, principalmente en comparación a tejidos potencialmente analizables como el tejido óseo o la dentina, tanto para el caso de los valores δC^{13} (Lee-Thorp *et al.,* 1991; Lee-Thorp et Van der Merwe, 1991:343-344; Wang et Cerling, 1994:288; Koch *et al.,* 1997:418; Shahack-Gross *et al.,* 1999:5) como para los valores δO^{18} (Bryant *et al.,* 1994; Wang et Cerling, 1994:288; Fricke *et al.,* 1998; Kohn *et al.,* 1998:97; Shahack-Gross *et al.,* 1999:5; Sponheimer et Lee-Thorp, 1999:724). Esta ventaja se argumenta principalmente dado que el esmalte se compone de un contenido bajo de materia orgánica en comparación a la dentina o el tejido óseo, conformado a partir de grandes estructuras cristalinas de cristales de apatita, presentando una densidad muy alta (Ayliffe *et al.,* 1994:5296; Wang et Cerling, 1994:288; Bocherens *et al.,* 1996:308; Cerling *et al.,* 1997:638; Sponheimer et Lee-Thorp, 1999:727: Zazzo *et al.,* 2002:146; Schoeninger *et al.,* 2003:11-12; Sharma *et al.,* 2004:19).

Para el desarrollo del análisis se seleccionaron terceros molares inferiores de *Gazella subgutturosa* asociados al intervalo temporal de estudio (7700 - 7000 cal ANE). Tres principales razones responden a esta elección: en primer lugar, la baja representación de restos dentarios superiores en el yacimiento de *tell Halula* que obligó a recurrir a dientes mandibulares. En segundo lugar, se tuvo en cuenta que el esmalte dentario no se remodela una vez formado y que por tanto los valores obtenidos serán representativos exclusivamente del periodo de formación del tejido (Lee-Thorp et van der Merwe, 1987). En este sentido el tercer molar, especialmente para el caso de formaciones dentarias hipsodontas, es el que presenta un

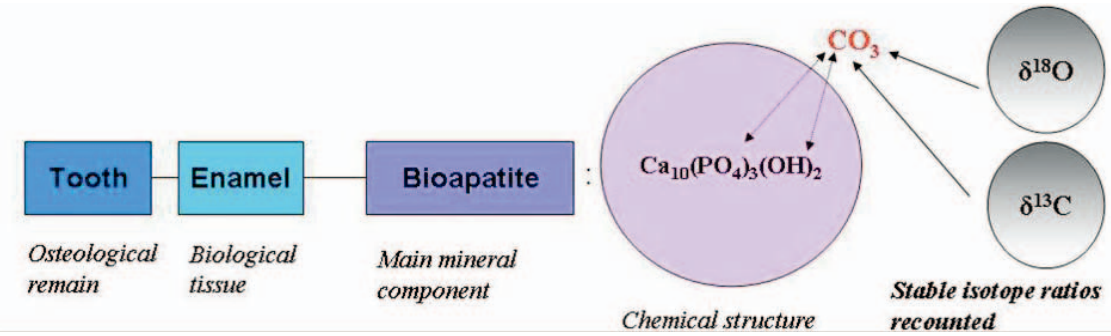


Figura 3. Descripción esquemática del emplazamiento del carbonato en la bioapatita del esmalte dentario.

periodo más largo y prolongado de formación[3]. Estas características facilitan la obtención de secciones con concentraciones isotópicas asociadas a intervalos temporales diferentes[4]. Por último, el proceso de formación del esmalte del tercer molar tiene lugar cuando los individuos son ya adultos o subadultos, y por tanto las composiciones isotópicas resultantes quedan exentas de cambios que tienen lugar durante el desarrollo y crecimiento del individuo (por ejemplo la lactancia y el destete).

Teniendo en cuenta las frecuencias de representación esquelética y el contexto de recuperación del material se seleccionaron un número de 16 restos pertenecientes a individuos diferentes (Figura 4). Los análisis ostebiométricos y el registro digital de los patrones de desgaste dentario en las superficies oclusivas nos permitieron seleccionar restos de individuos que hubieran finalizado el proceso de formación de esmalte en el momento de la muerte (Tornero 2006:202-211).

Nº LABORATORIO	AÑO RECUPERACIÓN	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CUADRO	SECTOR	FASE OCUPACIÓN	INTERVALO TEMPORAL (CAL ANE)	FRACCIÓN	LATERALIDAD	ESPECIE	VALOR $\delta C^{13}‰$	VALOR $\delta O^{18}‰$
Gazella-01	1994	D17a	B	IV	4	7800 - 7700	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-13,5	31,5
Gazella-02	1994	D7a	B	IV	6	7800 - 7700	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-13	31,4
Gazella-03	1994	D6a	B	IV	.5 - 7	7800 - 7700	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-12,8	34,9
Gazella-04	1994	C10e	B	IV	5	7800 - 7700	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-12	31,6
Gazella-05	1993	C4e	B	IV	6	7700 - 7600	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-12,9	33
Gazella-06	1993	B8e	B	IV	7	7700 - 7600	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-12,7	33,8
Gazella-07	1994	A16a	B	IV	8	7600 - 7500	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-13,7	29,6
Gazella-08	1994	A16	B	IV	8	7600 -7500	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-13,2	34,7
Gazella-09	1994	A16a	B	IV	8	7600 -7500	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-12,8	30
Gazella-10	2002	A16	H	IV	11	7500 - 7400	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-11,5	31,9
Gazella-11	2003	A33	H	IV	11	7500 - 7400	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-10,4	37,2
Gazella-12	2002	A16	H	IV	11	7500 - 7400	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-12,6	32,1
Gazella-13	2002	A16	H	IV	11	7500 - 7400	m3	derecho	*Gazelle subgutturosa*	-12,8	33,3
Gazella-14	1996	E21	F	II	18	7000 - 6900	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-13,3	35,2
Gazella-15	2003	A33	H	IV	11	7500 - 7400	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-12,8	29,7
Gazella-16	1993	A5a	B	IV	10	7600 - 7500	m3	izquierdo	*Gazelle subgutturosa*	-13,4	30,1

Figura 4. Tabla resumen datos relativos a las muestra y valores isotópicos obtenidos.

Con el objetivo de comparar los valores obtenidos se seleccionó la misma sección de esmalte para analizar: el último momento de formación localizado inmediatamente previo al inicio de la raíz, en la parte bucal del primer lóbulo de cada diente, tomando los dos últimos milímetros de formación del esmalte. Este dato nos permitiría comparar de forma fiable los resultados finales entre individuos y reducir a la vez la variabilidad intraespecífica. Para la obtención de la sección de esmalte se utilizó una pequeña sierra-disco rotatoria. Una vez realizada la sección, se recuperó una muestra de fracción de esmalte. Esta llevaba incorporada en su posición interna, en la mayoría de ocasiones, parte de la dentina. Para separarla

3. Este puede cubrir más de un año y medio en el caso de bueyes y équidos (Bryant *et al.*, 1996a, 1996b), y casi un año para el caso de ovicaprinos (Fricke et O'Neil, 1996:95). Para el caso de las gacelas éste podría ser alrededor de 6 y 9 meses según el trabajo de Kohn *et al.* (1998:107).

4. Esta consideración, y la selección también del tercer molar inferior para el caso de ungulados es muy común en trabajos parecidos y sobre todo en aquellos que analizan secuencias completas de la altura del esmalte en las piezas dentales: en el caso de bueyes (Wiedemann *et al.,* 1999:701; Zazzo *et al.*, 2002:154; Sharma *et al.,* 2004:19), en el caso de cabras y ovejas (Bocherens *et al.,* 2001:71; Balasse *et al.,* 2002:926; 2003:208; Balasse et Ambrose, 2005:285) o diferentes especies de équidos (Hoppe *et al.,* 2003:5).

de la fracción de esmalte nos ayudamos de herramientas de dentista y pequeñas pinzas, y la operación se realizó con la ayuda de una lupa binocular a 40 aumentos. Los dos tejidos se separan fácilmente dada su diferente textura, color y tipo de fragmentación. Finalmente la muestra compuesta por fragmentos, o la sección entera, de esmalte seccionado, se redujo punto de polvo con la ayuda de un mortero de ágata.

Pretratamiento químico de las muestras

En primer lugar se ajustaron los pesos de las muestras en torno a 0,014 y 0,015mg dado que los diferentes tratamientos realizados se llevarían a cabo en tubos *Ependtorf* con capacidad máxima para 15ml, y se guardaron los restos de muestra sin tratar.

Todas las muestras fueron químicamente tratadas con el objetivo de eliminar los posibles carbonatos orgánicos e inorgánicos añadidos a la muestra. Estos carbonatos añadidos podrían modificar y/o obscurecer las concentraciones isotópicas originales. Para ello se siguieron los protocolos *standards* propuestos por Lee-Thorp & van der Merwe (1987:713) así como algunas revisiones recientes de propuestas por Koch *et al.* (1997:422) y Balasse *et al.* (2002:919-921).

El primer tratamiento consistió en la aplicación de NaClO 2% durante 24h con una relación 1mg/1ml por muestra. Posteriormente las muestras fueron limpiadas hasta cinco veces con agua destilada (pH 5-8) y secadas a 60º durante 24h en el *Laboratori de Làmines Primes* del *Departament de Geologia* (UAB). El segundo tratamiento consistió en la aplicación de ácido acético 0,1 M durante 4h y con una relación también 1mg/ml por muestra. Finalmente las muestras fueron limpiadas y secadas de nuevo.

Durante los diferentes tratamientos se estableció una medida de control con el objetivo de inferir sobre el posible grado de modificación de la muestra. Las muestras fueron pesadas y se observó una pérdida constante y homogénea entre el 20 y 40% del peso inicial (media 37'73%), una cifra frecuente en este tipo de análisis en torno al 40% (Balasse *et al.,* 2002:921).

Recuento de las concentraciones

El recuento final de las concentraciones C^{13}/C^{12} y O^{18}/O^{16} se realizó a partir de la propuesta original de McCrea (1950), corregida y aplicada a muestras de esmalte dentario por Kolodny (1970) y Coplen *et al.,* (1983), utilizada en similares estudios y bibliografía de referencia (Lee-Thorp et van der Merwe, 1987; Koch *et al.,* 1997; Balasse *et al.,* 2002; 2003). El método consiste en la aplicación de ácido fosfórico a la muestra tratada con el objetivo de recuperar el dióxido de carbono la muestra. Las muestras fueron enviadas para este último paso a *Iso-Anlytical Laboratory* (Inglaterra). Acorde a la bibliografía consultada, el tratamiento del ácido fosfórico fue realizado durante tres horas y con una concentración del ácido del 100% en una relación 6mg/~0,5ml. El dióxido de carbono resultante fue recogido y recontado en el Espectrómetro de Masas Europa *Scientific 20-20 IRMS.* Durante la secuencia de análisis de los valores se intercalaron los controladores NBS-19 y NBS-18 así como una muestra interna de carbonato de calcio del propio laboratorio (IA-RO22).

La lectura de las concentraciones demuestra una desviación de las muestras no superior a 0,05‰ para el caso de los valores δC^{13} y una no superior a 0,15‰ para los valores δO^{18}. Estas desviaciones son comunes en la mayoría de resultados obtenidos en otros trabajos efectuados sobre el carbonato de la bioapatita del esmalte dentario (Cerling *et al.,* 1997; Wiedemann *et al.,* 1999; Zazzo *et al.,* 2002;…). La desviación más grande de los valores de oxígeno respecto a los de carbono es también registrada en numerosos trabajos, e incluso estipulada como variable entorno a 0,14‰ por la mayoría de autores: "Oxygen values from carbonate enamel usually present a mean difference in isotope composition of 0,14/0,12‰" (Balasse *et al.,* 2003:209).

5. RESULTADOS

Todas la muestras enviadas pudieron ser analizadas y se midieron las concentraciones de isótopos estables del carbono C^{13}/C^{12} y los del oxígeno O^{18}/O^{16}. Los resultados de la relación entre éstos se han expresado en valores delta (δ) y en ‰, acorde a la corrección del estándar V-PDB *(Viena-Pee Dee Belemite)* para el caso de los valores de carbono y V-SMOW *(Viena-Standard Mean Ocean Water)* para el caso de los valores de oxígeno, siguiendo la formulación establecida: $\delta = [(R_{muestra}/R_{estandar}) - 1]x1000$. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla general (Figura 4).

Todos los valores obtenidos se sitúan en el intervalo de aceptación de los valores δC^{13} y δO^{18} del carbonato de la bioapatita del esmalte para el caso concreto de los mamíferos herbívoros (Quade *et al.,* 1992; Blondel *et al.,* 1997; Mashkour *et al.,* 2002;…). Se han observado resultados similares en trabajos anteriores realizados sobre poblaciones de gacelas en los que se havia seguido un mismo procedimiento de análisis (Cerling *et al.,* 1997a:638; Koch *et al.,* 1997).

6. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos demuestran por primera vez la preservación de las concentraciones isotópicas en la bioapatita del esmalte de restos de gacelas recuperado en *tell Halula* correspondientes a un intervalo temporal entre el 7800-7000 cal ANE.

Los valores δC^{13} recontados en las muestras asociadas al intervalo 7800-7000 cal ANE muestran una variabilidad muy reducida ente ellos con una media en torno -12,65‰ (Figura 5). De acuerdo a los diferentes estudios realizados los cuales demuestran una variabilidad entre -8 y -20‰ para el caso de los valores δC^{13} en el carbonato de la bioapatita del esmalte dentario de ungulados con formación dentaria hipsodonta y con dietas compuestas principalmente por la ingesta de plantas tipo C_3 (Cerling *et al.,* 1997:640; Wiedemann *et al.,* 1999:701;...), los valores δC^{13} obtenidos en el conjunto de muestras analizadas son representativos de un consumo importante de este tipo de recurso vegetal. A la vez, esta contribución de recursos vegetales C_3 presentaría un bajo contenido de C^{13}.

En esta línea, la información etológica consultada para las gacelas, y de forma específica para la especie analizada *(Gazella subgutturosa),* asociada principalmente a un hábitat esteparo, propone un consumo de recursos vegetales configurado por herbáceas y en menor medida arbustivo, asociado a un hábitat esteparo (Baharav, 1983; Martin, 2000; Campos-Arceiz *et al.,* 2004), el cual se correlaciona bien con los valores δC^{13} obtenidos. La vegetación esencialmente esteparia esta dominada por plantas C_3 con unas concentraciones δC^{13} entorno a ~-26‰.

En menor medida estarían disponibles algunas plantas tipo C_4 como las *"chénopodiacées"* que presentarían concentraciones δC^{13}=~-13‰ pero más propias de medios salinos (Bocherens *et al.,* 2001). Estos valores δC^{13} representarían unas concentraciones de ~-12‰ y ~+1‰ respectivamente y acorde al aumento de ~+14‰ establecido para los valores δC^{13} en la bioapatita del esmalte dentario de mamíferos herbívoros (Lee-Thorp et Van der Merwe, 1987; Lee-Thorp *et al.,* 1989; Cerling et Harris, 1999:356), valores que concuerdan bastante bien con los obtenidos en las gacelas de *tell Halula.* Estos valores obtenidos (-11 a -13‰) son también interpretados de forma similar en el trabajo de Cerling *et al.* (1997:638) a partir del mismo procedimiento de análisis (carbonato-bioapatita–esmalte-gacelas).

Los valores de oxígeno muestran una variabilidad más alta y una media entorno a los 32,44‰ (Figura 6). Acorde al método desarrollado, estos resultados pueden ser empleados como referentes a modo de paleoindicadores climáticos del agua potable superficial. En esta línea, y en el mismo marco espacial y contexto histórico de estudio, en el yacimiento de *Hayonim Cave* (Israel) (10,2ka -8,8ka cal ANE) (Shahack-Gross,

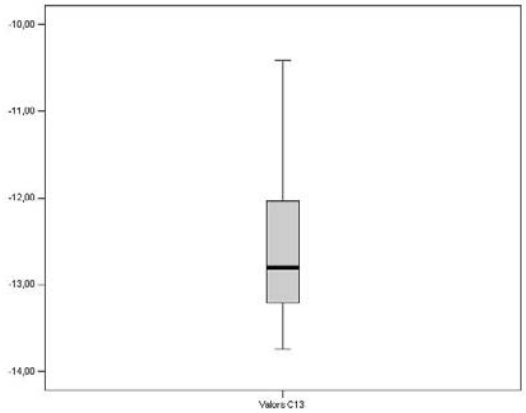


Figura 5. Representación de la variabilidad, intervalo de confianza y mediana de los valores δC^{13} ‰ obtenidos.

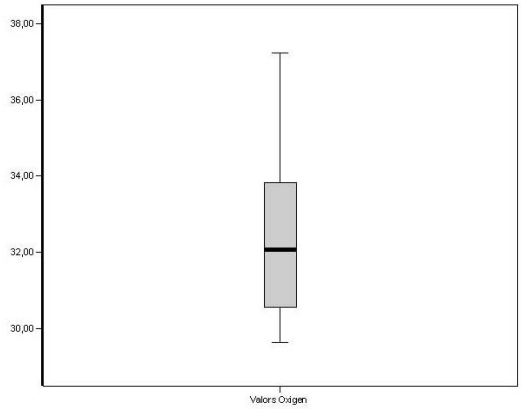


Figura 6. Representación de la variabilidad, intervalo de confianza y mediana de los valores δO^{18} ‰ obtenidos.

1999:5), se realizaron previamente el mismo tipo de análisis (carbonato – bioapatita – esmalte) en restos de gacelas recuperadas en la secuencia estratigráfica del yacimiento y con gacelas actuales y de reservas naturales muy próximas al lugar del enclave arqueológico. El resultado fue que los valores obtenidos en los restos arqueológicos diferían casi en +10‰ respecto a los valores recontados en las gacelas modernas. Este dato fue interpretado por los autores como representativo de un aumento de la temperatura actual del agua superficial (agua bebida por los animales) respecto al periodo estudiado. Al comparar los valores δO^{18} obtenidos en las gacelas de *tell Halula* (7800 – 7000 cal ANE) con los obtenidos en las gacelas de *Hayonim Cave,* se documenta una similitud muy alta: 30-32‰ a *tell Halula* y 30-31‰ a *Hayonim Cave* difiriendo también ampliamente de los actuales registrados en las gacelas modernas (21-22‰).

La posibilidad de medir los valores δC^{13} y δO^{18} en la misma muestra permite incidir en algunos parámetros mediambientales. La obtención de valores δO^{18} elevados, y acorde a la estrategia de análisis explicada, y especialmente para el caso de ungulados salvajes, puede ser indicativa de condiciones áridas tal y como han observado similares trabajos para el intervalo temporal y área de estudio (Wiedemann et al., 1999 y Shahack-Gross, 1999). Además, el hecho de obtener también valores δC^{13} elevados (dentro de una tendencia a la preferencia de plantas C_3), es indicativo de un recurso vegetal ingerido en un sistema abierto o semi-abierto, pero no cubierto o frondoso (Cerling *et al.,* 1997:645; Bocherens *et al.,* 1996:315). De acuerdo a la información etológica consultada, este tipo de marco y condiciones del medio representado coincidirían con las preferencias de la especie analizada, propias a un medio estepario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en las instalaciones del *Laboratori d'Arqueozoologia (Departament de Prehistòria, Universitat Autònoma de Barcelona).* Agradecemos en este sentido el espacio y la disponibilidad del material utilizado. Al Dr. Pitter Ferrio del *Departament de Producció vegetal i ciència forestal* de la *Universitat de Lleida-ETSEA* por hacernos aplicados en el tratamiento químico de las muestras y a Jaume Qués del *Laboratori de Làmines Primes* de la *Facultat de Geologia* de la *Universitat Autònoma de Barcelona,* sin duda nuestra propuesta de despacho difícilmente hubiera tenido aplicación práctica en el registro sin su mediación. Por último, expresar nuestro agradecimiento a Ignacio Montero y a toda la organización del *VII Congreso Ibérico de Arqueometría* por hacer posible el evento.

REFERENCIAS

AYLIFFE, L.K.; CHIVAS, A.R.; LEAKEY, M.G. 1994: "The retention of primary oxygen isotope compositions of fossils elephant skeletal phosphat". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54:5291-5298.

BAHARAV, D. 1983: "Reproductive strategies in female mountain and dorcas gazelles (Gazelle gazelle and Gazelle dorcas)". *J.Zool.London,* 200:445-453.

BALASSE, M.; AMBROSE, S.H.; SMITH, A.B.; PRICE, T.D. 2002: "The Seasonal Mobility Model for Prehistoric Herders in the South-western Cape of South Assessed by Isotopic Analysis of Sheep Tooth Enamel". *Journal of Archaeological Science* 29:917-932.

BALASSE, M.; SMITH, A.B.; AMBROSE, S.H.; LEIGH, S.R. 2003: "Determining Sheep Birth Seasonality by Analysis of Tooth Enamel Oxygen Isotope Ratios: The Late Stone Age Site of Kasteelberg (South Africa)". *Journal of Archaeological Science* 30: 205-215.

BALASSE, M. ET AMBROSE, S. 2005: "Distinguishing sheep an goat using dental morphology and stable carbon isotopes in C_4 grassland environments". *Journal of Arcahaeological Science* 32:691-702.

BAR-MATTHEWS, M.; AYALON, A.; KAUFMAN, A.; WASSERBURG, G.J. 1999: "The eastern mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel". *Earth Planetary Science Letters* 166:85-95.

BLONDEL, C.; BOCHERENS, H.; MARIOTTI, A. 1997: "Stable carbon and oxygen ratios in ungulate teeth from French Eocene and Oligocene localities". *Bulletin de la Societe Geologique de France* 168:775-781.

BOCHERENRS, H.; KOCH, P.L.; MARIOTTI, A.; GERAADS, D.; JAEGER, J-J. 1996: "Isotopic Biogeochemistry (^{13}C, ^{18}O) of Mammalian Enamel from African Pleistocene Hominid Sites". *Palaios* 11:306-318.

BOCHERENS, H.; BILLIOU, D.; MARIOTTI, A.; TOUSSAINT, M.; PATOU-MATHIAS, M.; BONJEAN, D.; OTTE, M. 2001: "New isotopic evidence for dietary habits of Neanderthals from Belgium". *Journal of Human Evolution* 40:497-505.

BRYANT, J.; LUZ, B.; FROELICH, P. 1994: "Oxygen isotopic composition of fossil horse tooth phosphate as a record of continental paleoclimate". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107:303-313.

BRYANT, J.D.; KOCH, P.L.; FROELICH, P.N.; SHOWERS, W.J.; GENNA, B.J. 1996a: "Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60:5145-5148.

BRYANT, J.D.; FROELICH, P.N.; SHOWERS, W.J.; GENNA, B.J. 1996b: "Biologic and climatic signals in the oxygen isotopic composition of Eocene-Oligocene equid enamel phosphate". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126:75-89.

CAMPOS-ARCEIZ, A.; TAKATSUKI, S.; LHAGVASUREN, B. 2004: "Food overlap between Mongolian gazelles and livestock in Omnogobi, southern Mongolia". *Ecological Research* 19:455-460.

CERLING,T.E.; HARRIS, J.M.; AMBROSE, S.H.; LEAKEY, M.G.; ET SOLOUNIAS, N. 1997: "Dietary and environmental reconstruction with stable isotope analyses of hervibore tooth enamel from the Miocene locality of Fort Ternan, Kenya". *Journal of Human Evolution* 33:635-650.

CERLING, T.E. ET HARRIS, J.M. 1999: "Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies". *Oecologia* 120:347-363.

COPLEN, T.B.; KENDALL, C.; HOPPLE, J. 1983: “Comparison of stable isotope references samples”. *Nature* 302:236-238.

DAVIS, S. 1982: “Climatic change and the advent of domestication: the succecion of ruminant artiodactyls in the Late Pleistocene-Holocene in the Israel region”. *Paléorient* 8:5-15.

DUCOS, P. 1978: *Tell-Mureybet: étude archéozoologique et problèmes d’ecologie humaine.* París. CNRS.

DUNHAM, K.M. 1997: “Population growth of mountain gazelles reintroduced in central Arabia”. *Biological Conservation* 81:205-214.

DUNHAM, K.M. 1998a: “Spatial organitzation of mountain gazelles Gazella gazella reintroduced to central Arabia”. *Journal of Zoology, London* 245:371-384.

DUNHAM, K.M. 1998b: “Use of artificial water supplies by captive-born mountain gazelles (Gazella gazella) released in central Arabia”. J*ournal of Zoology, London* 246:449-454.

DUNHAM, K.M. 2000: “Dispersal pattern of mountain gazelles Gazella gazella released in central Arabia”. *Journal of Arid Environments* 44:247-258.

DURHAM, K.M.; KICHENSIDE, T.B.; LINDAY, N.; RIETKERK, F.; WILLIAMSON, D.T. 1993: “The reintroduction of mountain gazelle Gazella gazella in Saudi Arabia”. *International Zoo Yearbook* 32:107-116.

FERGUSON, W.W. 1983: “The systematic position of Gazella dorcas (Artiodactyla: Bovidae) in Israel and Sinai”. *Mammalia* 45:453-457.

FRICKE, H.C.; O’NEIL, J.R. 1996: “Inter-and intra-tooth variation in the oxygen isotope composition of mammalian tooth enamel phosphate: implications for palaeoclimatological and palaeobiological research” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology* 126: 91-99.

FRICKE, H.D; CLYDE, W.C.; O’NEIL, J.R.; GINGERICH, P.D. 1998: “Intra-tooth variations in $\delta^{18}O$ (PO_4) of mammalian tooth enamel as a record of seasonal variations in continental climate variables”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62:1839-1850.

GEFFEN, H.; PEREVOLOTSKY, A.; GEFFEN, E.; YOM-TOV, Y. 1999: “Use of space and social organitzation of female mountain gazelles (Gazella gazella gazella) in Ramat HaNadiv, Israel”. *Journal of Zoology, London* 247:113-119.

GOURICHON, L. 2004: *Faune et Saisonnalité. L’organisation temporelle des activités de subsistance dans l’Epipaléolithique et le Néolithique précéramique du Levant nord (Syrie).* Tesis Doctoral. Faculté de Géographie, Histoire, Histoire de l’Art et Tourisme, Université Lumière – Lyon 2. 2 vol. Trabajo inédito.

HELMER, D. 2000: “Les gazelles de la Shammiya du nord et de la Djezireh du Natufien récent au PPNB”. En Mashkour, M.; Choyke, A.M.; Buitenhuis, H.; Poplin, F. (eds.). *Archaeozoology of the Near East IV. Proceedings of the fourth international symposium on the archaeozoology of southwestern Asia and adjacent areas (ASWA). Paris, 1998:*228-241.

HOPPE, K.A.; AMUNDSON, R.; VAVRA, M.; MCCLARAN, M.P.; ANDERSON, D.L. 2003: “Isotopic analysis of tooth enamel carbonate from modern north american feral horses: implications for paleoenvironment reconstructions”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 3240:1-13.

KOCH, P.; TUROSS, N. ;FOGEL, M.L. 1997: “The Effects of Samples Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite”. *Journal of Arcgchaeological Science* 24: 417-429.

KOHN, M.J.; SCHOENINGER, M.J.; VALLEY, J.W. 1998: "Variability in oxygen isotope compositions of herbivore teeth: reflections of seasonality or developmental physiology?". *Chemical Geology* 152:97-112.

KOLODNY, Y. Y KAPLAN, I.R. 1970: "Carbon and Oxygen isotopes in apatite CO_2 and co-existing calcite from sedimentary phosphorite". *J. Sedement. Petrol.* 40:954-959.

LEE-THORP, J.A.; VAN DER MERWE, N. 1987: "Carbon isotope analysis of fossil bone apatite". *South African Jourrnal of Science* 83:712-715.

LEE-THORP, J.A. ET VAN DER MERWE, N. 1989: "Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet". *Journal of Archaeological Science* 16:343-354.

LEE-THORP, J.A. ET VAN DER MERWE, N.J. 1991: "Aspects of the Chemistry of Modern and Fossil Biological Apatites". *Journal of Archaeological Science* 18:343-354.

LOGGERS, C.O. 1992: "Population characteristics of Dorcas gazelles in Marocco". *Afr. J. Eco.* 30:301-308.

MAUGET, C.; MAUGET, R.; SEMPÉRÉ, A. 1997: "Metabolic rate in female european roe deer (Capreolus capreolus): Incidence of reproduction". *Can. J. Zool.* 75:731-739.

MARTIN, L. 2000: "Gazelle (Gazella spp.) behavioural ecology: predicting animal behaviour for prehistoric environments in south-west Asia". *Journal of Zoology, London* 250:13-30.

MASHKOUR, M.; BOCHERENS, H.; MOUSSA, I. 2002: "Long distance movement of sheep and goats of Bakhtiari nomads tracked with intra-tooth variations of stable isotopes (^{13}C and ^{18}O)". En Davies, J.; Fabis, M. et al., (eds.). *Diet and health in past animal populations. 9th ICAZ Conference.* Durham:113-124.

MCCREA, J.M. 1950: "On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale". *The Journal of Chemical Physics* 18:849-857.

MOLIST, M. (ED.). 1996: *Tell Halula (Siria). Un yacimiento neolítico del valle medio del Eufrates. Campañas de 1991 a 1992.* Ministerio de Educacion y Cultura. Madrid.

MOLIST, M. 2001a: "Halula, village néolithique en Syrie du Nord". En Guilaine, J. (ed.). *Communautés villageoises du Proche-Orient à l'Atlantique (8000-2000 avant notre ère). Séminaire du Collège de France.* Éditions errance: 35-52.

MOLIST, M. 2001b: "Novedades en la investigación de los orígenes de las sociedades agrícolas en el Próximo Oriente: el medio Eufrates sirio y su rol en el proceso de neolitización". *Monografies Eridu* 1:173-187.

MOLIST, M. ET SAÑA, M. 2003: "Tell Halula, en los orígenes de las sociedades campesinas en el Valle del Eufrates". *Jornadas Temáticas Andaluzas de Arqueología* 211-249.

PERELADOVA, O.B.; BAHLOUT, K.; SEMPÉRE, A.J., SOLDATOVA, N.V.; SCHADILOV, U.M.; PRISLADZNUK, V.E. 1998: "Influence of environmental factors on a population of goitred gazelles (Gazella subgutturosa subgutturosa Güldenstaedt, 1780) in semi-wild conditions in an arid environment: a preliminary study". *Journal of Arid Environments* 39:577-591.

PETIT-MAIRE, N. ET GUO, J. 1996: "Mis en evidence de variations climatiques holocenes rapides, en phase dans le deserts actuels de Chine et Nord d'Africa". *Sciences de la Terre et des Planetes* 322:847-851.

QUADE, J.; CERLING, T.E.; MORGAN, M.M.; PILBEAM, D.R.; BARRY, J.; CHIVAS, A.R.; LEE-THORP, J.A; VAN DER MERWE, N.J. 1992: "A 16 million year record of paleodiet using carbon and oxygen isotopes in fossil teeth from Pakistan". *Chem. Geology (Iso. Geosci. Sect.)* 94:183-192.

ROSSIGNOL-STRICK, M. 1995: “Sea-land correlation of pollen records in the eastern Mediterranean for the glacial-interglacial transition: Biostratigraphy versus radiometric time-scale”. *Quaternary Science Reviews* 14:893-915.

SAÑA, M. 1997: *Recursos animals i societat del 8800 BP al 7000 BP a la vall mitjana de l’Eufrates: dinàmica del procés de domesticació animal.* Departament d’Antropologia Social i Prehistòria, Universitat Autònoma de Barcelona. Spain. Trabajo inédito.

SAÑA, M. 1999: “Arqueología de la domesticación animal. La gestión de los recursos animales en Tell Halula (Valle del Éufrates-Siria) del 8800 al 7000 BP”. *Treballs d’Arqueologia del Pròxim Orient, 1.* Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

SAÑA, M. 2001: *Dynamique de processus de domestication animale d’après le site neolithique de tell Halula (Vallée de l’Euphrate, Syrie).* IVª ASWAD, Paris, 1998. Univ. Paris I.

SAÑA, M. & TORNERO, C. 2005: “A posibility to reconstruct paleoenvironment from stable isotope analyses on archaeozoological remains from tell Halula (Middle Euphrates Valley, Syria)”. Sala d’Actes, Universitat Autònoma de Barcelona, february 9 of 2006. In International Workshop (MENMED.ICA3-CT-2002-10053 // INCOMED U.E.). *From the adoption of agriculture to the cuurent landscape: Longterm interaction between men and environment in the East Mediterranean Basin (2003-2006).*

SAÑA, M. & TORNERO, C. 2006: *Reconstruct environmental conditions from stable isotopic analysis on archaeozoological remains from tell Halula (Middle Eufrates Valley, Syria).* Memoire Programme INCOMED: ICA3-2002-10053.

SEMPÉRÉ, A.J.; BROWN, N.; PERELADOVA, O.B.; BAHLOUL, K.; LACROIX, A.; SOLDATOVA, N. 2001: “Comparative analysis of reproductive cycles in female persian gazelle (Gazella subgutturosa subgutturosa) (Central Asia) and Sand Gazelle (Gazella subgutturosa marica) (Arabian Peninsula)”. *General and Comparative Endocrinology* 121:57-65.

SCHILMAN, B.; BAR-MATTHEWS, M.; ALMOGI-LABIN, A.; LUZ, B. 2001: Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 176: 157-176.

SCHOENINGER, M.J.; HALLIN, K.; REESER, H.; VALLEY, J.W.; FOURNELLE, J. 2003: Isotopic alteration of mammalian tooth enamel., *International Journal of Osteoarchaeology* 13:11-19.

SHAHACK-GROSS, R.; TCHERNOV, E.; LUZ, B. 1999: “Oxygen isotopic composition of mammalian skeletal phosphate from Natufian Period, Hayonim Cave, Israel: Diagenesis and paleoclimate”. *International Journal of Osteoarchaeology* 14:1-13.

SHARMA, S.; JOACHIMSKI, M.M.; TOBSCHALL, H.J.; SINGH, I.B.; TEWARY, D.P. ET TEWARY, R. 2004: “Oxygen isotopes of bovid teeth as archives of paleoclimatic variations in archaeological deposits of the Ganga plain, India”. *Quaternary Research* 62:19-28.

SPONHEIMER, M. ET LEE-THORP, J.A. 1999: “Oxygen Isotopes in Enamel Carbonate and their Ecological Significance”. *Journal of Archaeological Science* 26:723-728.

STREET, F.A.; GROVE, A.T. 1979: “Environmental and climatic implications of late Quaternary lake level fluctutaion in Africa”. *Nature* 261:385-390.

THESINGER, W. 1959: *Arabian Sands.* London.

TORNERO, C. 2006: *Arqueozoologia i anàlisi d'isòtops estables. Aplicación de l'anàlisis d'isòtops estables a les restes de fauna de tell Halula. Estudi de les concentracions δC^{13} i δO^{18} al CO_3 de la bioapatita de l'esmalt dentair de gaseles (Gazella subguttutosa sub.) 7800-7000 cal ANE.* Diploma d'Estudis Avançats (DEA). Dir. Prof. Dra. María Saña. Departament de Prehistòria, Univerisitat Autònoma de Barcelona. Trabajo inédito.

WANG, Y. ET CERLING, T.E. 1994: "A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107:281-289.

WIEDEMANN, F.B.; BOCHERENS, H.; MARIOTTI, A.; VON DEN DRIESCH, A.; GRUPE, G. 1999: "Methodological and archaeological implications of intra-tooth isotopic variations ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) in herbivores from Ain Ghazal (Jordan, Neolithic)". *Journal of Archaeological Science* 26:697-704.

ZAZZO, A.; MARIOTTI, A.; LÉCUYER, CH.; HEINTZ, E. 2002: "Intra-tooth isotope variations in late Miocene bovid enamelñ from Afghanistan: paleobiological, taphonomic, and climatic implications". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186:145-161.

ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS ORGÁNICOS DE LA NECRÓPOLIS DE LA EDAD DEL BRONCE DE OPATÓW (POLONIA)

ANALYSIS AND BOTANICAL IDENTIFICATION OF ORGANIC MATERIAL OBJECTS FROM THE OPATÓW BRONZE AGE NECROPOLIS (POLAND)

MAGDALENA MOSKAL, ERNESTINA BADAL

Universitat de València, Depto. Prehistoria y Arqueología, Av. Blasco Ibáñez, 28, 46010 Valencia. Correo electrónico: Magdalena.moskal@uv.es, Ernestina.badal@uv.es

RESUMEN

La necrópolis de la Edad del Bronce de Opatów (Klobuck, Polonia) se utilizó durante la llamada cultura de Campos de Urnas (Cultura de Lusacia). En esta cultura se practicaba la incineración, por tanto es frecuente encontrar restos vegetales carbonizados que nos indican los tipos de leña utilizados en los rituales funerarios. Pero además, en una de las tumbas de Opatów se hallaron, sin carbonizar, dos objetos realizados en materias orgánicas, se trata de una ofrenda o prenda personal del difunto que se ubicó en la urna. En este trabajo analizaremos dichos objetos para conocer los materiales utilizados en la confección, la manufactura del mismo y el proceso de conservación. Las técnicas analíticas son: observación en microscopio óptico de luz reflejada y en el electrónico de barrido, además de efectuar microanálisis con la técnica de Espectrometría de Rayos X.

ABSTRACT

The Bronze Age necropolis of Opatów (Klobuck, Polonia) was used during the Urn Field Culture (Lusatian Culture). Cremation was practiced in that culture and for this reason carbonized plant remnants are frequently found and they indicate which types of firewood were used in funerary rituals. But, also, in one of the Opatów graves, two objects made of uncahrred organic material were found. These objects were deposited in the urn probably as an offering or as a personal belonging of the deceased person. They have been analyzed in order to assess their preservation state, materials, and manufacturing methods. Analytical techniques employed in this study include reflected light microscopy and scanning electron microscopy coupled to energy dispersive X-ray microanalysis (SEM-EDX).

Palabras clave: Polonia, Edad del Bronce, Arqueobotánica, Anatomía vegetal, Abedul, microscopía óptica, Espectrometría de Rayos X (EDX), MEB.

Key words: *Poland, Bronze Age, Archaeobotany, Vegetal anatomy, Birch, Optical Microscopy, X Ray spectrometry (EDX), SEM.*

I. INTRODUCCIÓN

La necrópolis de Opatów (Klobuck) se encuentra en la región de Silesia, en el sur de Polonia (fig. 1). Las primeras excavaciones arqueológicas se remontan al año 1938, pero es a partir del año 1998 que se realizan excavaciones de urgencia debido al continuo expolio que sufre el yacimiento, dado la riqueza de materiales que proporciona (Nosek, 1946; Godlowski 1986; Szczepanek *et al.,* 2004). En el conjunto de excavaciones se han exhumado más de 1.500 tumbas. Más de la mitad corresponde a la cultura de Lusacia (grupo de Alta Silesia-Pequeña Polonia) del complejo de Campos de Urnas de la Edad del Bronce. En la Edad de Hierro se siguió utilizando dicha necrópolis (Szczepanek *et al.,* 2007). Lo genuino del grupo de Alta Silesia-Pequeña Polonia es que practican tanto la incineración como la inhumación, mientras que en el resto de regiones donde se da la cultura de Lusacia sólo se práctica la incineración. Por tanto, en Opatów se han hallado los dos rituales funerarios. En el presente trabajo presentaremos dos objetos orgánicos recuperados en la tumba de incineración 1.395. En el año 2004 se descubrió dicha tumba que estaba señalada por una agrupación de piedras irregulares de mediano tamaño; por debajo se hallaba la urna de cerámica negra, bruñida y con carena, colmatada de arena y dos piedras. En el interior se encontraron fragmentos óseos (1.530 gr.) cuyo análisis antropológico demostró que pertenecían a una mujer de 35-40 años *(adultus-maturus).* El ajuar que acompañaba a la difunta constaba de dos vasos pequeños puestos boca arriba, más varios objetos realizados en bronce, así una aguja, un collar, dos espirales y 36 botones, además de dos objetos de materia orgánica. Se puede observar que en la urna, después de la cremación, primero pusieron los restos de los huesos, encima colocaron el ajuar y al final ubicaron los vasos. El estado de conservación del ajuar indica que los objetos no pasaron por la pira funeraria y además los huesos fueron separados de cenizas y carbones (Szczepanek *et al.,* 2007).

Figura 1. Situación del yacimiento de Opatów en Silesia (Polonia).

La cerámica y los objetos del bronce son característicos de la fase clásica del grupo de Alta Silesia-Pequeña Polonia de la cultura de Campos de Urnas, datados en IV-V periodo según Montelius *(ca.* 900-700 a.C.). Aunque el collar de bronce es típico del periodo más reciente (V periodo de Montelius) por lo tanto la tumba 1.395 debe ser de ese periodo. No obstante, en el Bronce Final es frecuente encontrar ajuares compuestos de objetos típicos del periodo IV y del V (Szczepanek *et al.,* 2007).

II. MATERIALES

En el ajuar de la tumba 1.395 había dos objetos de materia orgánica parcialmente conservados, de tal modo que se puede hacer una descripción formal.

A) Fragmento de una banda o cinta de tejido vegetal rematado a lo largo de un borde por un festón realizado con hilo de sección aplanada, fino y más oscuro (fig. 2.1; 2.2 y 2.6), cuyas dimensiones conservadas son 46 mm. de largo y 24 mm. de ancho. La confección se hizo de dentro hacia fuera por medio de un punzón o aguja que realiza la perforación, deformando parcialmente la cinta, para que pase el hilo (fig. 2.2 y 2.6). Dos tipos de materiales se han utilizado en la manufactura de este objeto: tejidos vegetales para la cinta y animales para el hilo.

En la cercana necrópolis de Pawelki (Kochanowice, Silesia) apareció una tumba de inhumación con un ajuar análogo y sincrónico al depósito de la tumba 1.395, es decir, compuesto de collar, espirales del bronce y cinta de cuero con 25 botones de bronce. La cinta medía de 15 a 20 mm. de ancho y casi 150 mm. de largo y se remataba con un arete de bronce en uno de los extremos, además se adornaba con dos espirales del mismo metal. Dicha banda se situaba alrededor del cráneo a modo de diadema. En la tumba se hallaron los restos de una mujer de edad *adultus* (Mlodkowska-Przepiórowska, 2007). En base a estos datos, es posible que el objeto de la tumba 1.395 de Opatów pertenezca a los adornos de la cabeza. Además, las observaciones realizadas en las necrópolis de inhumación indican que las espirales de bronce estaban, principalmente, ubicados cerca de la cabeza (Szydlowska, 1963; Szczepanek *et al.,* 2007).

B) Objeto de materia orgánica, amorfo debido al elevado grado de descomposición (fig. 3.1), cuyas dimensiones conservadas son: 17 mm. de largo y 8 mm. de ancho. En una zona tiene adherencias metálicas formando un círculo como si se tratara de la desintegración de un arete o un botón de metal (fig. 3.1 y 3.2). También contenía microorganismos (fig. 3.3 y 3.5). No se puede identificar a qué objeto pertenecía aunque podría formar parte de la diadema.

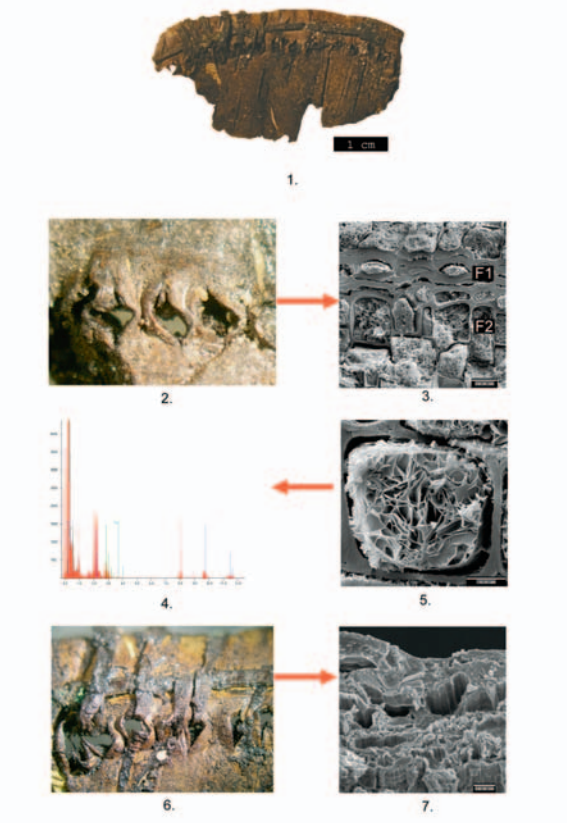


Figura 2. Objeto realizado en la corteza de abedul cosido con fibras de animales. Posible fragmento de cinta o diadema (Fotos: M. Moskal y E. Badal).

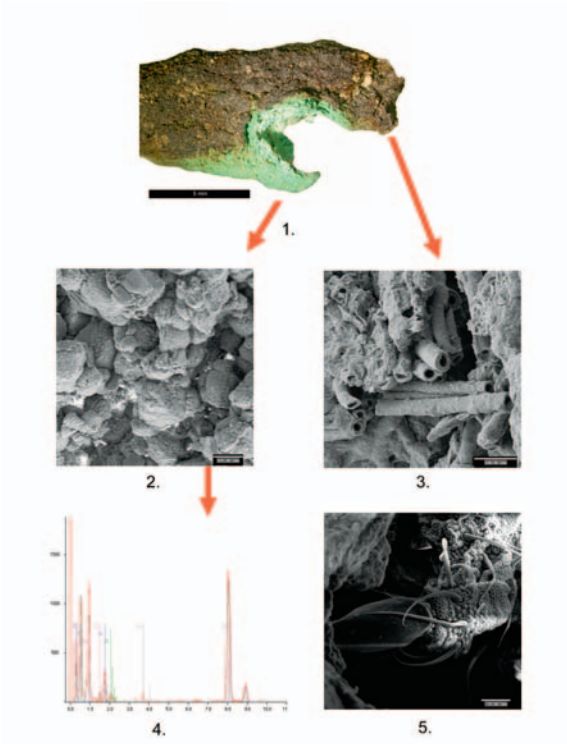


Figura 3. Objeto indeterminado de materia orgánica y metal de cobre (Fotos: M. Moskal y E. Badal).

III. MÉTODOS

El protocolo de análisis ha seguido tres etapas.

A) Observación y descripción morfológica en lupa binocular, de la marca Nikon modelo SMZ-10A. También se han realizado fotos de detalle morfológico con la cámara que incorpora dicha lupa.

B) Identificación botánica del tejido vegetal; para ello se realizó la observación en un microscopio óptico de luz reflejada con campo claro – campo oscuro de Nikon modelo Optiphot-100. Ambos análisis se hicieron en el laboratorio del departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universitat de València.

C) Observación de microorganismos, minerales y la toma de fotografías se ha realizado en el microscopio electrónico de barrido Hitachi S-4100 de Emisión de Campo por medio del programa de captación de imagen EMIP 3.0 (Electrón Microscope Image Processing) en el laboratorio de Microscopia Electrónica del Servicio Central de Soporte a la Investigación Experimental (S.C.S.I.E.) de la Universitat de València. En el mismo equipo se ha realizado el microanálisis en las dos piezas con la técnica de espectrometría de Rayos X por energía dispersiva mediante un detector Röntec modelo EDR288 utilizando los programas informáticos Winshell para la adquisición y Wintools para el análisis.

Para la observación en el microscopio de luz reflejada, la preparación de las muestras es puramente mecánica, es decir, el material se parte con las manos sin utilizar ningún tipo de tratamiento químico, lo cual permite con posterioridad utilizar técnicas de radiocarbono sobre el mismo resto orgánico. Sin embargo, para la observación en el microscopio electrónico de barrido (M.E.B.), el material se fijó con cinta de carbono en el porta-objetos, se metalizó con oro para facilitar la conductividad y se sometió al vacío. El método de identificación botánica de los vegetales fue el análisis de los tres planos anatómicos en el microscopio de luz reflejada y en el M.E.B., además para facilitar la comparación con material fresco se realizaron láminas delgadas. Los caracteres anatómicos se contrastaron con material fresco usando los mismos métodos que en antracología y con la bibliografía especializada en anatomía vegetal (Fahn, 1985; Cutter, 1981; Esau, 1985, Greguss, 1955, 1959; Jacquiot, 1955; Jacquiot *et al.,* 1973; Schweingruber, 1990).

IV. RESULTADOS

Los materiales orgánicos asociados a la tumba 1.395 son el objeto de este análisis y han proporcionado unos resultados interesantes porque hay un desconocimiento general de los usos de las materias orgánicas para la confección de objetos que formarían la panoplia cotidiana de las sociedades prehistóricas. Así pues, dos son los objetos analizados: la posible diadema y un objeto indeterminado.

La cinta o diadema consta de dos partes claramente diferenciadas: la cinta y el hilo (fig. 2.1, 2.2 y 2.6).

La **cinta**: se trata de tejido vegetal cuyo análisis anatómico indica que está realizada con corteza de abedul *(Betula* sp.). La peridermis tiene tres componentes: el felógeno, el súber o felema y la felodermis. El primero es un tejido meristemático secundario, responsable del crecimiento en grosor del tallo (Cutter, 1981; Fahn, 1985). Sus células se dividen periclinalmente formando hacia el exterior el felema y hacia el interior la felodermis. En la actividad del felógeno, se observa un ritmo en el crecimiento y en el descanso, que no es anual. El felema está compuesto por las células muertas y suberinizadas que forman líneas radiales y carecen de los espacios intercelulares. En algunas especies, como por ejemplo en el caso de *Betula,* dentro del felema (F1 en fig. 2.3) se encuentra el feloide (F2 en fig. 2.3) que consta de las células sin suberina (Cutter 1981; Fahn 1985). En una zona de este tejido se ha realizado un microanálisis por difracción de Rayos X y se ha obtenido un espectro de elementos con importante presencia de cobre (fig.

2.4 y 2.5). Sin duda, estas partículas proceden de la oxidación y desintegración de los objetos metálicos que acompañaban a la difunta y que, a su vez, han servido en cierta medida a la conservación de los objetos orgánicos por medio de su metalización.

El **hilo**: no está realizado con tejido vegetal, la organización y estructura del mismo indican un origen animal (fig. 2.6 y 2.7), pero no se ha podido identificar la parte anatómica de donde procede. Es probable que se trate de tendones o intestinos por ser flexibles y resistentes que además se han documentado en la confección de vestidos y otros componentes a lo largo de la prehistoria (Spindler, 1995; Mlodkowska-Przepiórowska, 2007). También lo hemos comparado con lana actual sin procesar y no se corresponde ni morfológica ni anatómicamente.

Objeto indeterminado. Adherido a un posible botón de cobre, había una aglomeración de materia orgánica, bastante amorfa a no ser en la zona que se unía al botón que tomaba la forma circular de este (fig. 3.1). En la parte metálica se hizo un microanálisis que confirma su composición en cobre (fig. 3.2 y 3.4). En el resto no se ha podido identificar con seguridad su naturaleza. Es evidente su composición orgánica por haber unas formaciones tubulares de unos 5 µm de diámetro (fig. 3.3). Estas pueden tener varias explicaciones, primero que sean parte de algún tejido cuyos hilos sean de esas dimensiones, o segunda opción, que sean el resultado de la actividad biológica de algún microorganismo. Efectivamente, hemos hallado en dicha zona parte de un individuo que tiene unas 300 µm de largo, varias extremidades terminadas en garras y todo su cuerpo cubierto de pelos o púas (fig. 3.5) que podría ser parte de algún ácaro. En definitiva, se trata de una aglomeración de restos orgánicos indeterminados que pueden ser el resultado final de la acción combinada de microorganismos, bacterias y otros elementos que actúan en los procesos postdeposicionales de descomposición de la materia orgánica y, tal vez en este caso, se han conservado por mineralización a causa de la desintegración de los objetos metálicos.

V. DISCUSIÓN

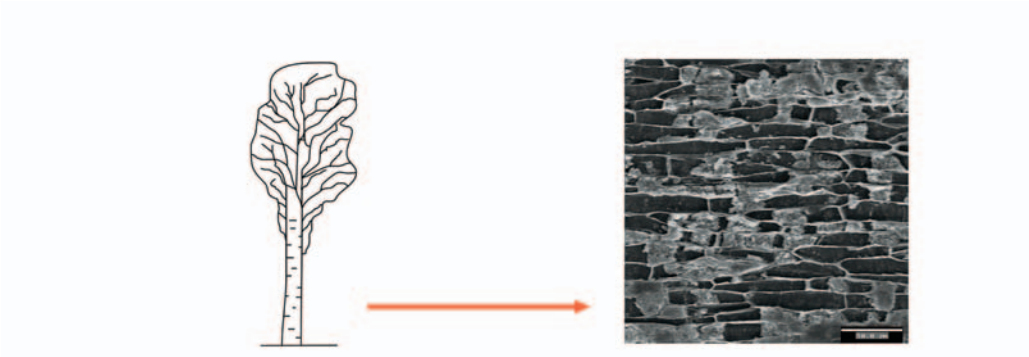
Los grupos humanos prehistóricos debieron utilizar materias orgánicas para realizar multitud de objetos y enseres de la vida cotidiana. Sin embargo, este tipo de manifestaciones culturales son las más desconocidas para nosotros, vista la fragilidad de dichas materias que no resisten el paso del tiempo. Son pocos los yacimientos que mantienen unas condiciones ambientales óptimas para la conservación de la materia orgánica; así, los hallazgos de Opatów, a pesar de lo modestos, son un buen ejemplo de esas manifestaciones culturales. Para que se preserven los objetos realizados con materias orgánicas (madera, cuero, fibras vegetales, pelo, etc.) los yacimientos deben reunir un ambiente donde no puedan actuar los agentes biológicos reductores, amén de los factores erosivos, químicos, etc. que no degraden la materia orgánica. En sociedades tradicionales actuales se ha podido observar que gran parte de los enseres así como la propia construcción del hábitat se realiza mayoritariamente con materias orgánicas (Pickell, 2002; Tsibiridou, 2000). Estas se deterioran fácilmente y por tanto es necesario su reparación o renovación frecuente. Ahora bien, cuando quedan sedimentadas en los yacimientos son pasto de microorganismos, bacterias, hongos, etc. por tanto, pocas veces se pueden documentar este tipo de objetos; a no ser en ambientes anaerobios que impidan la actuación biológica del proceso de degradación, como se ha podido documentar en yacimientos excepcionales de la Europa húmeda y mediterránea (Pétrequin, 1989, 1997; Piqué, 1999; Bosch *et al.,* 2006).

En Opatów, como se ha expuesto, se conservó parte de una posible cinta o diadema realizada con corteza de abedul. Efectivamente, este árbol posee unos tejidos epidérmicos muy elásticos, resistentes, impermeables y flexibles que lo dotan de una gran versatilidad para fabricar diversidad de objetos. Es de todos conocido, los dos cestos que portaba el hombre de los hielos o Özti realizados en corteza de abedul (Spindler 1995); o el sombrero de la tumba celta (Hallstatt D) de Hochdorf con un rico ajuar (Planck *et*

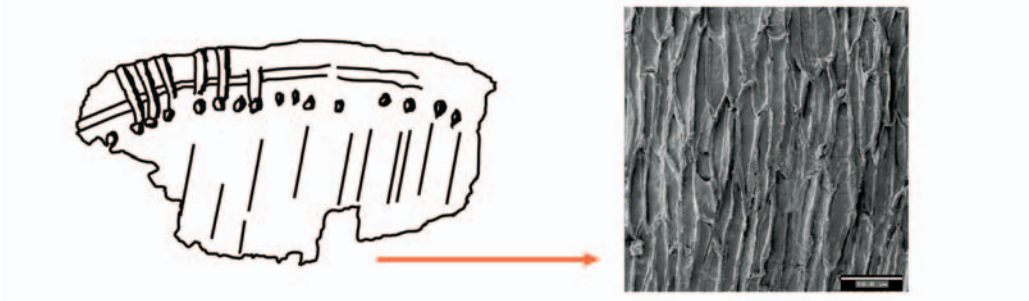
al., 1985). En el neolítico de los poblados de Jura de Francia se ha descubierto el uso de las cortezas para preparar recipientes, flotadores utilizados para pescar, etc. (Baudais, 1989; Dalattre, 1997). En fin, un poco repartido por todas las zonas donde vive este árbol se ha podido documentar el uso de su corteza para confeccionar distintos tipos de objetos cotidianos, amén de otros usos de su madera.

El objeto de Opatów confeccionado con corteza de abedul tiene una peculiar forma de realización ya que se dio un giro de 90º a la corteza para disponer el largo de la cinta. Si la cinta hubiera mantenido la disposición natural de los tejidos en el tronco del árbol, el largo máximo coincidiría con el perímetro del mismo (fig. 4.1). Sin embargo, si se cambia la orientación, entonces el largo puede ser mayor ya que puede alcanzar hasta el alto del tronco (fig. 4.2), tal vez las dimensiones de la cinta de Opatów requirieron ese giro para disponer de mayor longitud que el perímetro del tronco del árbol de donde se sacó la corteza. En uno de sus lados, como hemos señalado, hay un festón realizado con hilo de origen animal que remata el borde de la cinta o diadema. Es probable que la función del mismo sea decorativa por la buena ejecución de la misma pero a la vez que impida la desintegración de la cinta por los extremos.

En la necrópolis de Opatów se ha realizado un análisis de los carbones procedentes de varias tumbas de incineración, que también demuestran el uso del abedul como combustible en los rituales de cremación, además de otros árboles como pino albar *(Pinus sylvestris),* tejo *(Taxus baccata),* roble *(Quercus* sp. caducifolio) y chopo *(Populus* sp.). En el mismo yacimiento también se encontraron mangos de hachas realizados con madera de pino albar y roble (Litynska-Zajac, 2004).



1. Esquema morfológico de abedul y disposición natural del tejido de la corteza.



2. Objeto de Opatów realizado en corteza de abedul y disposición del tejido, donde se ha invertido el sentido natural de la corteza.

Figura 4. Disposición natural de las células en los tejidos de la corteza de abedul y el modo de empleo en la cinta de Opatów (Fotos: Moskal y E. Badal).

VI. CONCLUSIONES

El análisis e identificación botánica de dos objetos orgánicos de la tumba 1.395 de Opatów ha resultado interesante por varias razones que podemos sintetizar en los siguientes puntos:

1. La cinta que probablemente formaba parte de una diadema estaba realizada con corteza de abedul y rematada con un festón de hilo de origen animal. De este árbol también se utilizó su madera para los fuegos rituales.
2. El microanálisis demuestra que la descomposición de los botones metálicos ayudó a conservar la cinta de corteza de abedul, pues al desintegrarse el cobre sus partículas se incrustaron en los tejidos.
3. Del otro objeto indeterminado quedan grandes dudas sobre su naturaleza y función. Sólo podemos confirmar su origen orgánico, la presencia de un microorganismo y de mineral de cobre.

BIBLIOGRAFÍA

BAUDAIS, D. 1989: “Les objets en bois et en écorce des station II”. En P. Pétrequin (ed.): *Les Sites de Littoraux Néolitiques de Clairvaux-les-Lacs (Jura). II. Le Néolitique moyen.* Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme. Paris: 187-189.

BOSCH, A.; CHINCHILLA, J. y TARRUS, J. 2006: *Els objects de fusta del poblat neolitic de La Draga. Excavacions 1995-2005.* Monografies del Casc 6. Museu d'Arqueologia de Catalunya. Centre d'Arqueologia Subaquática de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Girona.

CUTTER, E.G. 1981: *Anatomía de las plantas. Parte I. Células y Tejidos.* Luis Carcamo. Madrid.

DALATTRE, N. 1997: “Écorces cousues, écorces rouies”. En P. Pétrequin (ed.): *Les Sites de Littoraux Néolitiques de Clairvaux-les-Lacs et de Chalain (Jura). III.* Vol.2. Chalain station 3, 3200-2900 av. J.-C. Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme. Paris: 551-556.

ESAU, K. 1985: *Anatomía vegetal.* Omega. Barcelona.

FAHN, A. 1985: *Anatomía vegetal.* Pirámide. Madrid.

GODLOWSKI, K. 1986: “Opatów, Woiwodschaft Czestochowa (Graberfeld der Lausitzer Kultur und der jungeren Kaiserzeit)”. *Recherches de Archeologiques de 1984.* Kraków: 36-39.

GREGUSS, P. 1955: *Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen.* Academiai Kiado. Budapest.

GREGUSS, P. 1959: *Holtzanatomie der europaischen Lauhölzer und stauncher.* Academiai Kiado. Budapest.

JACQUIOT, C. 1955: *Atlas d´Anatomie des bois des Conifères.* Centre Techniques de Bois. Paris.

JACQUIOT, C.; TRENARD, Y. y DIROL, D. 1973: *Atlas d´Anatomie des bois des Angiospermes.* Centre Techniques de Bois. París.

LITYNSKA-ZAJAC, M. 2004: "Drewno i wegle drzewne z cmentarzyska kultury luzyckiej w Opatowie, pow. Klobuck, woj. Slaskie. Holz und Holzkohle aus dem Gräberfeld von Opatów, Fst. 1, Kr. Klobuck, woiw. Slaskie". *Sprawozdania Archeologiczne* 56: 459-464.

MLODKOWSKA-PRZEPIÓROWSKA, I. 2007: “Odkrycie diademu ze skóry na stanowisku nr 7 w Pawelkach, gm. Kochanowice, woj. Slaskie”. En J. Chochorowski (ed.): *Studia nad epoka brazu i wczesna epoka zelaza w Europie. Ksiega jubileuszowa poswiecona Profesorowi Markowi Gedlowi na piecdziesieciolecie pracy w Uniwersytecie Jagiellonskim.* Wydawnictwo UJ. Kraków: 455-463.

NOSEK, S. 1946: “Wyniki badan prowadzonych na cmentarzysku kultury luzyckiej w Opatowie pow. Czestochowski”. *Annales UMCS.* Vol. I, 4. Lublin: 229-332.

PÉTREQUIN, P. (ed.). 1987: *Les Sites de Littoraux Néolitiques de Clairvaux-les-Lacs (Jura). II. Le Néolitique moyen.* Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme. París.

PÉTREQUIN, P. (ed.). 1997: *Les Sites de Littoraux Néolitiques de Clairvaux-les-Lacs et de Chalain (Jura). III. Vol.2. Chalain station 3. 3200-2900 av. J.-C.* Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme. París.

PICKELL, D. 2002: *Between the Tides. A fascinating journey among the Kamoro of New Guinea.* Periplos. Singapore.

PIQUÉ, R. 1999: “Análisis de las maderas y carbones de la Cova des Muslo (Menorca)”. En V. Lull; R. Micó; C. Rígete y R. Risch: *La Cova des Càrritx y la Cova des Mussol: ideología y sociedad en la prehistoria de Menoría.* Consell Insular de Menorca. Mahón: 427-437.

PLANCK, D.; BIEL, J.; SÜSSKIND, G. y WAIS, A. (ed.) 1985: *Der Keltenfürst von Hochdorf: Methoden und Ergebnisse der Landesarchäologie. Katalog zur Ausstellung,* Stuttgart, Kunstgebäude, von 14. bis 13. Oktober 1985. Theiss. Stuttgart.

SCHWEINGRUBER, F.H. 1990: *Anatomie Europäischer Hölzer.* Paul Haupt Berne und Stuttgart Publishers. Bern-Stuttgart.

SPINDLER, K. 1995: *El hombre de los hielos.* Galaxia Gutenberg. Barcelona.

SZCZEPANEK, A.; JAROSZ, P. y WIECZOREK-SZMAL, M. 2004: “Bronzene Doppelhalsringe aus dem Gräberfeld von Opatów, Fst. 1, Kr. Klobuck, woiw. Slaskie”. *Sprawozdania Archeologiczne* 56: 415-457.

SZCZEPANEK, A.; JAROSZ, P. y WIECZOREK-SZMAL, M. 2007: "Bogaty pochówek cialopalny popielnicowy z cmentarzyska w Opatowie, pow. Klobuck, woj. Slaskie". En J. Chochorowski (ed.): *Studia nad epoka brazu i wczesna epoka zelaza w Europie. Ksiega jubileuszowa poswiecona Profesorowi Markowi Gedlowi na piecdziesieciolecie pracy w Uniwersytecie Jagiellonskim.* Wydawnictwo UJ. Kraków: 641-650.

SZYDLOWSKA, E. 1963: “Diademy i zawieszki skroniowe grupy górnoslasko-malopolskiej kultury luzyckiej”. *Archeologia Polski* 8/1: 44-68.

TSIBIRIDOU, F. 2000. *Les Pomak dans la Thrace grecque. Discours ethnique et practiques socioculturelles.* L’Harmattan. París.

LO REAL Y LO IMAGINARIO. EL PROYECTO HUM2004-04939 SOBRE LA FLORA EN EL MUNDO IBÉRICO

THE REAL AND THE IMAGERY. THE HUM2004-04939 PROJECT ABOUT THE IBERIAN WORLD FLORA

ERNESTINA BADAL GARCÍA[1], HELENA BONET ROSADO[2], EVA COLLADO MATAIX[1], FRANCISCO JAVIER FABADO ALÓS[3], MERCEDES FUENTES ALBERO[4], ISABEL IZQUIERDO PERAILE[5], CONSUELO MATA PARREÑO[1], ANDREA MORENO MARTÍN[6], MARÍA NTINOU[1], DAVID QUIXAL SANTOS[4], PERE PAU RIPOLLÈS ALEGRE[1], LUCÍA SORIA COMBADIERA[7]

(1) Departament de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez 28. 46010 Valencia. Ernestina.badal@uv.es, Eva.collado@uv.es, Consuelo.mata@uv.es, Maria.ntinou@uv.es, Pere.P.Ripolles@uv.es
(2) Servei d'Investigació Prehistòrica. Diputació de València. Calle de la Corona 36. 46003 Valencia. Helena.Bonet@dival.es
(3) Jardí Botànic. Universitat de València. C/ Quart 80. 46008. Francisco.Fabado@uv.es
(4) Beca "V Segles". Departament de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez 28. 46010 Valencia. M.Mercedes.Fuentes@uv.es, David.quixal@uv.es
(5)Subdirección General de Museos Estatales. Ministerio de Cultura. Madrid. isabel.izquierdo@mcu.es
(6) Beca FPI (BES-2005-7890). Departament de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez 28. 46010 Valencia. Andrea.moreno@uv.es
(7) Departamento de Historia, Área de Prehistoria. Universidad de Castilla-La Mancha. lucia.soria@uclm.es

RESUMEN

"De lo real a lo imaginario. Aproximación a la flora ibérica durante la Edad del Hierro" es el título del proyecto Hum2004-04939 financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. El objetivo es hacer un estudio multidisciplinar de la flora con el fin de aproximarnos al uso y simbolismo de las plantas por parte de los Iberos. El método ha consistido en la combinación de datos paleobotánicos tomados de la antracología, la palinología y la paleocarpología, junto con los iconográficos. Se ha realizado un banco de datos con todos los restos arqueobotánicos y representaciones iconográficas de vegetales documentados en los yacimientos Ibéricos. En ambos casos se aplican criterios de identificación estrictamente botánicos, basados esencialmente en la anatomía y morfología vegetal. Todos estos datos están disponibles en la página de internet: www.uv.es/floraiberica. En este artículo, para ilustrar nuestro método de trabajo y los beneficios del mismo hemos elegido una planta genuinamente ibérica: la vid *(Vitis vinifera* L).

ABSTRACT

"From the real to the imagery: Approaching the Iberian Iron Age Flora" is a multidisciplinary research project funded by the Spanish Ministerio de Educación y Ciencia (Hum2004-04939). Our field of interest is the study of the Iberian Iron Age flora (6th-1st centuries BC) in order to better understand the use and the symbolism of plants in ancient societies, especially among ancient Iberians. The method conducted is a combination of a paleobotanical approach, based on anthracology, palinology and paleocarpology, together with an iconographic one. Accordingly, we have compiled in a database all archaeobotanical remains and iconographical vegetal items documented in Iberian archaeological sites. In both cases we

have identified the items by botanical criteria, based essentially on the anatomical and morphological attributes. All this data is available in our web: www.uv.es/floraiberica. The aim of this paper is to offer an example of our methodology of research and its benefits through the analysis of a genuine Iberian species: the common Grapevine (Vitis vinifera *L.).*

Palabras clave: Edad del Hierro, Mundo Ibérico, Flora, Arqueobotánica, Vid, Iconografía.

Key words: *Iron Age, Iberian World, Flora, Archaeobotany, Grapevine, Iconography.*

I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La década de 1990 fue muy prolífica en estudios dedicados a la iconografía de los Iberos desde distintos puntos de vista, destacando especialmente la cerámica (AA.VV., 1992; Aranegui, 1997; Olmos, 1999; entre otros). Por su parte, los estudios arqueobotánicos se han ido incorporando en las publicaciones de los yacimientos ibéricos, aunque no con la profundidad y sistemática que cabría desear. Todos los miembros del equipo hemos trabajado en alguno de estos campos y esas experiencias nos han llevado a explorar nuevos enfoques, sobre todo de carácter interdisciplinar al pretender integrar los restos vegetales y sus representaciones, teniendo en cuenta los contextos arqueológicos en los que se encuentran. Esta conjunción de datos permitirá obtener una imagen de mayor precisión etnobotánica, que completará las aproximaciones que se están realizando en proyectos en los que, las plantas, se estudian desde un punto de vista simbólico y religioso, como el *Thesaurus Cultus et Rituum Antiquorum (ThesCRA),* cuyo fascículo sobre animales y plantas en las religiones del mundo mediterráneo antiguo (Iberia y Grecia) dirige R. Olmos.

Experiencias similares se han desarrollado teniendo en cuenta otros objetos arqueológicos o bióticos como el armamento (Lorrio 1995; Quesada 1997), la fauna continental y marina (Green, 1992; Delorme y Roux 1987). En cambio, la línea de estudio que proponemos ha empezado a desarrollarse recientemente en Gran Bretaña e Italia, habiéndose publicado bancos de datos en red sobre restos arqueobotánicos (AA.VV., 2006; Borgongino, 2006). Así pues, este proyecto se inscribe dentro de una sistemática que está por explorar en España y apenas se ha iniciado en el resto de Europa.

El proyecto tiene como finalidad realizar un estudio sobre la flora de la Edad del Hierro en la fachada mediterránea peninsular, combinando distintas fuentes de información botánica para elaborar un banco de datos a partir del cual poder sintetizar la flora de ese momento. Desde los tiempos más remotos, los vegetales han estado presentes en la vida humana, no sólo en su aspecto más rentable o económico, sino también en lo simbólico y religioso, formando parte del imaginario y la identidad cultural de cada sociedad. El uso de las plantas es tan versátil que en los yacimientos arqueológicos sus restos se conservan de muy distintas formas y maneras. Nuestros objetivos son, en primer lugar, plantear un estudio etnobotánico, es decir, observar las relaciones de los Iberos con las plantas de su entorno, real o imaginario; y, en segundo, ecológico, es decir una aproximación al paisaje vegetal y medio ambiente a partir de los restos botánicos conservados. Los ficheros de datos realizados en el proyecto se han dado a conocer por medio de la página de Internet: www.uv.es/floraiberica, con acceso libre. Como colofón también pretendemos publicar una monografía sobre flora antigua utilizada por los Iberos. Para ilustrar nuestro método de trabajo y los resultados que se pueden alcanzar hemos elegido presentar aquí los usos en el mundo ibérico de una planta emblemática del Mediterráneo: la vid, que se une al ya publicado sobre la adormidera y la palmera (Mata *et al.,* 2007).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de aproximarnos a la flora de los Iberos, se ha realizado una recopilación bibliográfica y catalogación de todos los ítems vegetales publicados en los yacimientos de la cultura ibérica con una cronología de los siglos VI-I a.C., desde Cataluña hasta Andalucía. Se han distinguido dos grandes conjuntos documentales: los restos orgánicos *(lo real)* y las representaciones figurativas de vegetales *(lo imaginario).*

LO REAL está constituido por los vegetales que son testimonios de la flora y del uso de las plantas por los Iberos. Se incluyen las especies cultivadas y silvestres, que han sido utilizadas de forma directa con distintas finalidades: alimentación, combustible, madera de construcción, carpintería, escultura, rituales, etc., documentadas gracias a los estudios arqueobotánicos. Por otra parte LO IMAGINARIO, es decir, las representaciones plásticas e iconográficas de elementos vegetales. Los Iberos tienen una rica cultura material donde se proyecta un mundo de imágenes muy diverso que integra representaciones vegetales. Esta iconografía se nutre de mitos, leyendas e historias difíciles de dilucidar ante la escasez de fuentes escritas, pero que si se sitúan en su contexto arqueológico pueden aportar datos sobre el uso simbólico o ideológico de la naturaleza.

Esta amplia gama de restos vegetales no siempre se ha estudiado en profundidad y, cuando se ha hecho, siempre ha sido por separado: "lo real" por su inmediato valor económico o social y "lo imaginario" por lo iconográfico y simbólico; pero nunca se han puesto en relación ambos tipos de documentos ni se ha tenido en cuenta los contextos de donde proceden. En este proyecto se ha recopilado todos los datos botánicos ibéricos publicados hasta 2007, con ellos se ha realizado un banco de datos cuyas fichas integran toda la información referente a los taxones identificados en cada yacimiento. Además, hemos catalogado todas las imágenes vegetales publicadas que aparecen sobre cerámica, escultura en piedra, elementos arquitectónicos, moneda, armamento y objetos personales de metal así como los pólenes, las maderas carbonizadas o no, las fibras vegetales, los frutos y las semillas; sólo han quedado fuera los exvotos de bronce y terracota, las pesas de telar, las fusayolas, las improntas vegetales sobre material de construcción y las referencias escritas, pero no descartamos incluirlas en el futuro.

Partimos de la catalogación de los restos orgánicos e imágenes más realistas, dejando para una segunda fase las esquemáticas o abstractas que admiten varias posibilidades de interpretación, como los motivos esteliformes o las ovas. Para las imágenes de vegetales, el método de trabajo consiste en identificar las plantas representadas haciendo una descripción botánica lo más ajustada posible. El rango de identificación en algunos casos es muy incierto y va desde grupo (Angiosperma) hasta especie *(Vitis vinifera* L.). Los datos se introducen en una ficha donde se recoge la información básica del ítem vegetal: yacimiento, municipio, contexto, catalogación y descripción, bibliografía básica, imagen, descripción de la pieza que le sirve de soporte, etc. Esta ficha está vinculada a otra donde se describen botánicamente los *taxa* identificados con el fin de ilustrar el catálogo de la flora ibérica. Todos los ficheros se han publicado en la página electrónica de Internet, de acceso libre, sobre la que se pueden hacer búsquedas, visualizar imágenes y mapas de dispersión de restos. El funcionamiento del banco de datos permite barajar una gran cantidad de variables, con las que extraer información que, de otra forma, sería difícil de abordar y percibir.

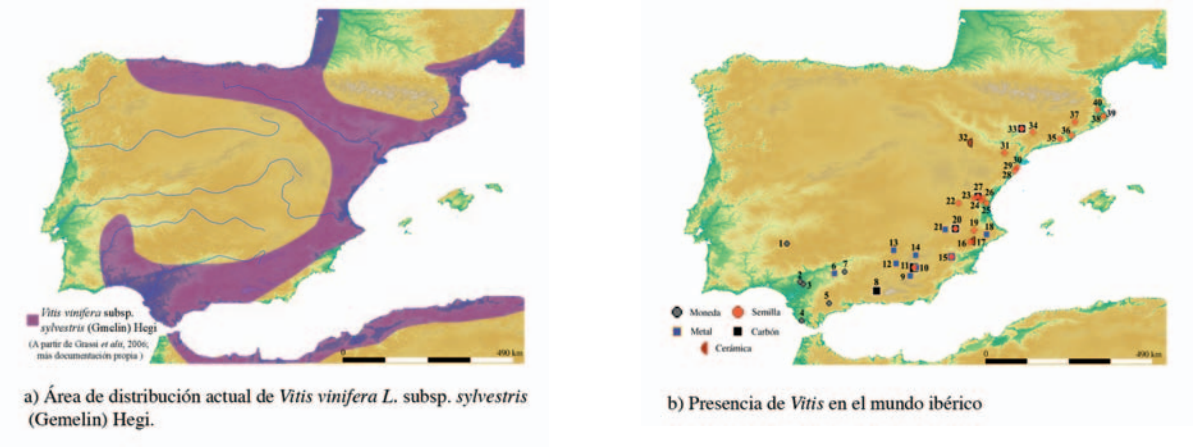
II. UNA PLANTA EMBLEMÁTICA: LA VID

A fenicios y romanos se les ha considerado agentes dispersores de plantas por las riberas del Mediterráneo. Todavía es frecuente encontrar textos actuales que hablen de la introducción en la Península Ibérica del olivo *(Olea europaea* L.), la vid *(Vitis vinifera* L.), el pino piñonero *(Pinus pinea),* etc.,

pero un breve recorrido por los datos arqueobotánicos peninsulares desmienten rotundamente ese mito, estas plantas vivían en las orillas occidentales del Mediterráneo mucho antes de que empezaran los grandes viajes de oriente hacia occidente. En este trabajo nos centraremos en la vid *(Vitis vinifera* L.) tanto su variedad silvestre (subsp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi) como cultivada (subsp. *vinifera).*

La vid es un arbusto trepador con tallos tortuosos de corteza agrietada y ramas jóvenes flexibles denominadas sarmientos. Trepa mediante unos zarcillos que aparecen opuestos a las hojas, siendo éstas simples, alternas, pecioladas, caedizas y de limbo palmatilobulado, con 5-7 lóbulos dentados. Las flores son pequeñas, de color verde y las encontramos agrupadas en densas y largas inflorescencias. El fruto es una baya globosa de unos 5-35 mm, de color variado, desde amarillo a casi negro, y generalmente con 2-3 semillas apiculadas en su interior. La subespecie silvestre *(V. vinifera* L. subsp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi) suele habitar sotos, valles de río, arroyos y bosques de ribera (fig. 1a). Morfológicamente, la podemos separar de la subespecie tipo (subsp. *vinifera)* por sus frutos ácidos y más pequeños (5-7 mm) y por el pico de la semilla más corto y obtuso. Sin embargo, con los restos arqueológicos no siempre se puede distinguir la variedad silvestre de la cultivada aunque se han realizado muchos esfuerzos en este sentido (Terral, 2002).

En nuestra investigación, basada en el banco de datos realizado para el proyecto de investigación, buscamos cómo fue utilizada *Vitis* en el mundo Ibérico, qué tipo de restos o representación de esas plantas han llegado hasta nosotros y en qué contextos se han hallado.



a) Área de distribución actual de *Vitis vinifera L.* subsp. *sylvestris* (Gemelin) Hegi.

b) Presencia de *Vitis* en el mundo ibérico

Figura 1. Mapa de distribución actual de la vid silvestre y de los hallazgos de *Vitis* en el Mundo Ibérico.

III. RESULTADOS DE VITIS VINIFERA L

III.1. Lo real

Los restos orgánicos se pueden identificar por la madera y por las semillas hasta el rango de especie: *Vitis vinifera* L., mientras que es difícil discriminar la subespecie silvestre *(Vitis vinifera* L subsp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi) de la cultivada *(Vitis vinifera* L subsp. *vinifera)* (Alonso, 2000; Terral, 2002), siendo el contexto arqueológico lo que inclina a los autores a pronunciarse sobre la subespecie cultivada (Alonso, 2000; Pérez, 2000; Pérez *et al.,* 2007).

Restos orgánicos. Restos orgánicos de *Vitis* se han documentado en 24 yacimientos (fig. 1b y tabla 1) con un mínimo de 77 hallazgos. De los cuales carbón sólo se ha encontrado en seis ocasiones (fig. 2a y 2b): en Castellet de Bernabé (Llíria, Valencia) había sarmientos quemados en contexto doméstico y en un enterramiento infantil (Grau, 2003); en el yacimiento del Amarejo (Bonete, Albacete) había madera y semillas de vid en un depósito votivo (Broncano, 1989); en Roques de Sarró (Lleida) se ha identificado carbón de *Vitis vinifera* L. subsp. *sylvestris* (Alonso, 1999); en Andalucía, se quemó leña de vid en dos poblados, Fuente Amarga (Galera, Granada) y los Baños (La Malahá, Granada); en el primer caso apareció en un horno posiblemente de pan y en el segundo en contexto doméstico sin precisar (Rodríguez-Ariza, 2000; Ruiz y Rodríguez, 2003). En definitiva, pocos son los sitios donde se usaron cepas o sarmientos como combustible, tal vez porque la viña no recibiera podas sistemáticas y fueran pocos los materiales de desecho.

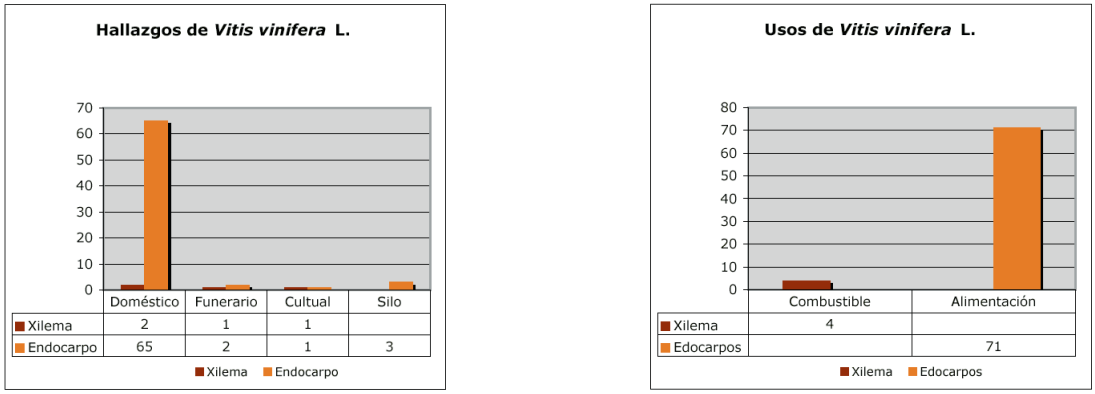


Figura 2. Restos orgánicos de *Vitis vinifera* L. en el Mundo Ibérico.

Semillas se han encontrado en 23 yacimientos con un mínimo de 71 hallazgos (fig. 2a, 2b y tabla 1). De ellos, 65 estaban asociados a contextos claramente domésticos en yacimientos desde Cataluña hasta Andalucía. En Font de la Canya (Avinyonet del Penedès, Barcelona) se han encontrado en tres silos (López i Reyes, 2004). Finalmente, en la necrópolis del Cigarralejo (Mula, Murcia) estaban asociados a las tumbas 95 y 298-B y en El Amarejo estaban en un contexto cultual (Broncano, 1989; Rivera-Núñez y Obón, 2005). Las semillas que han aparecido en contexto funerario o cultual indican un uso de los frutos como ofrendas para el consumo de los difuntos o de seres míticos; mientras que las halladas en contextos domésticos además podrían haber sido destinadas a la obtención de vino y ser los restos de su elaboración, sin descartar el uso como fruta fresca o pasa. No olvidemos que las uvas con un tratamiento adecuado se convierten en pasas de gran valor nutritivo y de fácil almacenamiento, pero esta práctica no se ha documentado arqueológicamente.

El conjunto de los hallazgos indica que de la vid se utilizaron más los frutos como alimento o bebida que su madera como combustible. El área de distribución de los hallazgos arqueobotánicos coincide, básicamente, con el área natural de *Vitis vinifera* L. subsp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi (fig. 1a y 1b). Esta coincidencia pudo facilitar su cultivo, pues los factores ecológicos serían adecuados para el desarrollo de las cepas de la subespecie cultivada y no se descarta el uso de la silvestre como pie de la doméstica dando lugar a variedades locales.

Vitis vinifera L.					
YACIMIENTOS	**Xilema**	**Semilla**	**Moneda**	**Pintura**	**Orfebrería**
1. Turrirecina (Badajoz)			+		
2. Osset (San Juan de Aznalfarache, Sevilla)			+		
3. Orippo (Torre de los Herberos, Dos Hermanas, Sevilla)			+		
4. Baicipo (Vejer de la Frontera, Cádiz)			+		
5. Acinipo (Ronda la Vieja, Ronda, Málaga)			+		
6. Cerro Perea (Écija Sevilla)					+
7. Ulia (Montemayor, Córdoba)			+		
8. Los Baños (La Malahá, Granada)	+				
9. Basti (Baza, Granada)					+
10. Tútugi (Galera, Granada)					+
11. Fuente Amarga (Galera, Granada)	+	+			
12. Tugia (Peal de Becerro, Jaén)					+
13. Santiesteban del Puerto (Jaén)					+
14. Santiago de la Espada (Jaén)					
15. El Cigarralejo (Mula, Murcia)		+			+
16. El Puntal (Salinas, Alacante)		+			
17. El Monastil (Elda, Alicante)				+	
18. La Serreta (Alcoi, Alicante)					+
19. La Bastida de les Alcusses (Moixent, Valencia)		+			
20. El Amarejo (Bonete, Albacete)	+	+			
21. Pozo Moro (Chinchilla, Albacete)					+
22. Kelin/ Los Villares (Caudete de las Fuentes, Valencia)		+			
23. La Seña (Villar del Arzobispo, Valencia)		+			
24. El Tossal de Sant Miquel (Lliria, Valencia)		+			
25. Tòs Pelat (Moncada, Valencia)		+			
26. El Puntal dels Llops (Olocau, Valencia)		+			
27. El Castellet de Bernabé (Lliria, Valencia)	+	+			
28. El Piug de la Nau (Benicarló, Castellón)		+			
29. El Piug de la Misericordia (Vinaròs, Castellón)		+			
30. La Moleta del Remei (Alcanar, Tarragona)		+			
31. Tossal Montañés (Valdeltormo, Teruel)		+			
32. Piquete de la Atalaya (Azuara, Zaragoza)				+	
33. Roques del Sarró (Lleida)	+	+			
34. Els Vilars (Arbeca, Lleida)		+			
35. Font de la Canya (Avinyonet del Penedès, Barcelona)		+			
36. Can Xercavins (Cerdanyola del Vallès, Barcelona)		+			
37. Camp de les Lloses (Tona, Barcelona)		+			
38. Puig de St. Andreu (Ullastret, Girona)		+			
39. Illa d´en Reixac (Ullastret, Girona)		+			
40. Mas Castellar (Pontós, Girona)		+			
TOTAL NÚMERO DE YACIMIENTOS	**5**	**23**	**6**	**2**	**8**

Tabla 1. Yacimientos ibéricos donde se ha identificado *Vitis.* Los números se corresponden con los yacimientos que aparecen en el mapa de la figura 1b.

III.2. *Lo imaginario*

La vid tiene representaciones iconográficas variadas, pero no parece tener un gran arraigo en las tradiciones indígenas. Las partes morfológicas de la vid se han encontrado representadas en varios soportes: en monedas (ss. II-I a.C.), en algunos objetos de orfebrería datados entre los ss. V-I a.C. y en algunas cerámicas pintadas, la mayoría de ellas de cronología tardía (s. I d.C.) y por tanto de clara influencia romana.

Moneda. El uso de diseños relacionados con el vino fue usual en el mundo griego y comparable con cualquier otro tipo de diseño, como los cereales o animales, tanto terrestres como marinos (Anson, 1976; Franke y Marathaki, 1999). Generalmente se utilizaron en ciudades en las que el cultivo de la vid, la elaboración de vino y su exportación constituían una parte importante de su vida económica *(e.g.* Mende, Maronea, Aenus, Thasos, Temnos, Rodas, Chios, Naxos o Locri).

En la numismática de la península Ibérica las vides y los racimos de uva tuvieron una menor incidencia dentro de la imaginería monetal, pues los encontramos en un área limitada del sur de la provincia romana de la Ulterior y en un número muy reducido de ciudades. También escasas fueron las representaciones relacionadas con la vid en el contexto iconográfico monetal romano, puesto que sólo se utilizaron como símbolo de control de las emisiones y, además, en un momento tardío (Crawford, 1974: 872-873).

A. Racimo de uva como tipo principal. Acinipo (Ronda la Vieja, Ronda, Málaga) (Villaronga 1994: 392-393/1-12) y Baicipo (Vejer de la Frontera, Cádiz) (Villaronga, 1994: 408/1; Chaves, 1998: 287). Estas ciudades son las únicas que en sus emisiones, fechadas en el siglo I a.C., utilizaron el racimo de uva como tipo principal, ocupando todo el flan y con un grabado de calidad irregular, aunque en algunos cuños alcanzaron un elevado realismo (fig. 3 y 1b). En Acinipo el racimo está acompañado de símbolos astrales que pudieron conferirle un significado símbólico. En ambas ciudades, el racimo del anverso se combina con dos y una espiga respectivamente. Es evidente que estos diseños se pueden interpretar, tanto desde el punto de vista de una alusión a una divinidad de carácter agrario como a la importancia primordial de ambos productos, quizás aquellos que centraban el esfuerzo productivo de la ciudad.

B. Cepa con racimos como tipo principal. Ulia (Montemayor, Córdoba) (Villaronga, 1994: 366-367/1-5). Emisiones del siglo II a.C. En el reverso de sus monedas tiene una curiosa composición en la que una cepa se muestra en su integridad, incluidas las raíces; dos sarmientos delimitan en su parte central una cartela en la que está inscrito el nombre de la ciudad, de los que penden a cada lado racimos[1] (fig. 3 y 1b). Este reverso se asocia con un anverso en el que un retrato, identificado como femenino, está acompañado de un creciente lunar y una espiga. El conjunto se ha interpretado como una divinidad frugífera y lunar (García-Bellido y Blázquez, 2001: 386).

C. Racimo de uva como atributo. Orippo (Torre de los Herberos, Dos Hermanas, Sevilla). Ss. II-I a.C. El racimo de uva está presente en todas las emisiones de esta ciudad en calidad de atributo de las personas que se retratan en el anverso (fig. 3 y 1b). En las emisiones más antiguas el retrato es masculino (Villaronga, 1994: 394/1-3) y en las más modernas femenino (Villaronga, 1994: 394/4-7). Estas figuras se acompañan en el reverso con un toro en distintas posiciones, arrodillado o estante. En las emisiones más antiguas de Osset (San Juan de Aznalfarache, Sevilla), ¿de fines del s. II a.C.? encontramos en el reverso una figura masculina de pie que sostiene con su mano derecha un racimo de uva y con la izquierda una cornucopia (fig. 3 y 1b) (Villaronga, 1994: 395/1-6). Para Chaves (1998: 274) se trata de una representación local del ciclo de la fertilidad.

En otra emisión más tardía, del s. I a.C. posiblemente, se vuelven a repetir el racimo de uva y la cornucopia, pero esta vez aislados y sin la figura masculina que los sostenía (Villaronga, 1994: 396/7). Además en el anverso se representa un retrato femenino galeado, cuyo prototipo iconográfico es la cabeza de Roma de los denarios republicanos. En este caso parece lógico pensar que el reverso continúa transmitiendo un mensaje similar al de las monedas de época anterior. Más tarde, ya en época imperial, volvió a utilizarse la figura masculina sosteniendo un racimo, por lo que entonces, sin duda, su significado se mantenía todavía vivo.

También ha sido identificado un racimo de uva en monedas de Turriregina (localización incierta en la provincia de Badajoz). El reverso de la emisión (Villaronga, 1994: 128/3), datada en el s. II a.C., muestra un racimo de uva y una espiga y entre ellas la leyenda TVRRI.REGINA entre líneas (fig. 3 y 1b). Aunque en

1. Chaves, F. 1998: 255, considera más probable que se trate de ramas de olivo del que penden aceitunas.

Figura 3. Iconografía monetal de la vid en la península Ibérica.

ninguna de las ilustraciones fotográficas de los catálogos que la recogen se aprecia con claridad el racimo, los dibujos publicados por Heiss (1870: lám. 54-4) y por Delgado (1871-1876: lám. 74-4), quedan confirmados por la existencia de una pieza subastada recientemente (Vico 11/3/2004, lote 84) y desvanecen las suspicacias alegadas por Alfaro (1998) sobre su existencia. La combinación de estos elementos en el reverso, el racimo y la espiga, con un retrato femenino en el anverso, sugiere que están aludiendo a las connotaciones de fertilidad agraria que tuvo la supuesta divinidad representada[2].

Representaciones de vid dudosas. En varias emisiones de Sacili (Dehesa de Alcorrucén, Pedro Abad, Córdoba) se acuñó en el transcurso del s. II a.C. una cabeza masculina barbada y adornada con una corona de hojas, que Villalonga (1994: 403-404/1 y 4) y Chaves (1998: 254) han identificado como pámpanos de vid; sin embargo, la morfología de las hojas no sólo no permite asegurarlo, sino que es más probable que se trate de hojas de hiedra, en consonancia con el aspecto del retrato, que se enmarca mejor dentro de las representaciones de personajes de carácter dionisíaco, como el propio dios o Sileno.

Por lo anteriormente expuesto, se deduce que en las representaciones seguras de vid, algunas asociaciones parecen conferirle una función de carácter religioso en cuanto que los racimos de uva parecen estar ilustrando un atributo de las figuras a las que acompañan, tanto si ésta aparece situada en la misma cara de la moneda o en la contraria. Este es el caso del racimo en las emisiones de Osset, Orippo o Turriregina, en donde forma parte del discurso narrativo que las monedas transmitieron. En otras series de monedas es más difícil conocer su significado, porque sólo están asociadas, en la otra cara de la moneda, con otro elemento también agrícola, como la espiga (Acinipo y Baicipo), y sus posibles lecturas son múltiples, pudiendo ser valorada como una parte que esté representando a un todo; no obstante parece lógico pensar que su presencia, entre otras razones, esté relacionada con la importancia que ambos elementos tuvieron como recursos económicos, lo cual a su vez pudo haber derivado en una orientación agraria de las divinidades y cultos que tuvieron. Con todo y en líneas generales, entre los diver-

2. En García-Bellido y Blázquez (2001: 382) se sugiere que sea una divinidad frugífera, guerrera y ctónica, considerando que en las emisiones previas las figuras que acompañan al topónimo son la falcata y la rodela (Villalonga, 1994: 128/1-2).

sos investigadores que se han ocupado de valorar el posible significado o procedencia de los diseños relacionados con la vid, es bastante generalizada la idea de que confirieron un significado de fertilidad y abundancia a las figuras a las que acompañaron.

En lo que concierne a la distribución territorial de las ciudades que utilizaron la vid como iconografía (fig. 1b), tanto principal como secundaria, debemos concluir que fue muy limitada y que sin duda no reflejó la importancia que su producción y consumo llegó a tener en algunos territorios hispanos.

Pintura. Las representaciones de vid en pintura se realizan sobre cerámicas, cuyo ejemplo más claro está en un *kalathos* de una casa de Piquete de la Atalaya (Azuara, Zaragoza), lugar identificado con la ceca de *belikiom* (Royo y Minguell, 1992). En la parte superior del galbo se ve claramente un rama de vid, con sus hojas, zarcillos y frutos (fig. 4,1b y tabla 1). La decoración principal es una escena en la que animales salvajes están atacando a una cierva cuando amamanta a su cría, mientras el macho está iniciando la huida. La posición de la vid parece ser meramente decorativa pero también podría indicar que la escena se desarrolla en los límites de la "naturaleza/paisaje cultivado", pues la propia escena está enmarcada en sus dos extremos por dos representaciones vegetales (herbácea y arboriforme) (Pérez y Mata, 1998).

De El Monastil (Elda, Alicante) (Poveda, 1988, fig. 29) procede una pieza que tiene hojas y zarcillos similares a los de Piquete de la Atalaya pero no dibujan los frutos que resultan indiscutibles en el primer caso. También hay ejemplos en L'Alcúdia (Elx, Alicante) en los que aparecen hojas que pudieran ser de vid, pertenecientes al Estilo III ilicitano de época altoimperial (Tortosa, 2004: 167-169, 177, nº 139, figs. 84 y 128).

Orfebrería. En el ámbito de la metalistería existe una notable representación de la iconografía de *Vitis vinifera* L. (fig. 1b y tabla 1) aunque restringida a la orfebrería sobre todo del oro, metal que además del significado de estatus o prestigio que conlleva, irá adquiriendo un significado económico pues la manufactura de piezas ornamentales se ampliará hasta el punto de propiciar la aparición de pequeños talleres locales, de producción reducida pero con unas características propias que los singularizan (De La Bandera, 1989). Uno de ellos es el del Guadalquivir, de clara filiación con los ambientes fenicios y púnicos, y al que corresponde un conjunto de piezas procedentes de las necrópolis de Túgugi (Galera, Granada) y Tugia (Peal de Becerro, Jaén). Las piezas que hemos identificado como racimos de vid son un anillo, un brazalete, una copa, un colgante y 12 pendientes. Los metales que les sirven de soporte son plata para los dos primeros, y oro para los demás. El ítem representado fue elaborado con la técnica del granulado.

Piquete de La Atalaya | Túgugri | Basti

Figura 4. Iconografía de la vid en pintura (foto M.M. Fuentes) y en orfebrería ibérica (a partir de fotos de A. Perea).

Los pendientes. En el caso de los pendientes, los hallazgos se localizan en Andalucía (Sevilla, Granada y Jaén) y algunos ejemplares en el Sureste (Alicante, Albacete y Murcia) (fig. 1b). De Túgui provienen 6 pendientes del mismo tipo, están compuestos por un cuerpo circular de alambre de oro, adornado con gránulos en los laterales y en el borde inferior, donde se disponen en forma piramidal. Los gránulos son de distintos tamaños y agrupados en un conjunto de perlas, cuyo número varía entre los ejemplares (fig. 4 y 1b). Todos aparecieron en contexto funerario (Perea, 1991: 236). Para ellos se ha propuesto una fecha amplia desde el s. V a.C. hasta la romanización. Otros dos proceden de Santiago de La Espada (Jaén) y formaban parte de un tesoro sin contexto arqueológico. Están compuestos por un creciente lunar rematado por gránulos de diferente tamaño, a modo de racimo. Se datan entre los ss. III- II a.C. (Nicolini, 1990, vol 2, pl. 68, a). Ejemplares similares son los hallados en Basti (Baza, Granada) (fig. 4), La Serreta (Alcoi, Alicante) y El Cigarralejo (Mula, Murcia), todos ellos de oro. Del entorno funerario de Basti, aunque sin contextualizar, procede un bello ejemplar de cuerpo circular y cierre filiforme liso, al exterior, apoyado con otro cordiforme helicoidal, al interior (Adroher, 2007). Por sus características y la homogeneidad de los materiales de la necrópolis de Túgui, la fecha se sitúa en la primera mitad del s. IV a.C. (Perea, 1991: 232). De la segunda mitad del mismo siglo se ha fechado el pendiente de La Serreta que está formado por un aro estriado con extremos entrecruzados y en la parte inferior están los tres gránulos que conforman el racimo (Aura y Segura, 2000). La misma composición decorativa, también del s. IV a.C., la encontramos en el ejemplar de la Tumba 400 de la necrópolis de El Cigarralejo (Nicolini, 1990, pl. 30, a y b). Similar es el motivo representado en dos pendientes de oro de las necrópolis de Tugia (Peal de Becerro, Jaén) y de Pozo Moro (Chinchilla, Albacete). Del primero cuelgan tres colgantes formados por tres gránulos de oro en disposición piramidal. Este tipo de ornamentación parece ser habitual en la joyería púnica. Procede de una colección particular y ha sido fechado en los ss. IV-II a.C. (Almagro, 1986: 76, lám. XII). En Pozo Moro, se halló un pendiente en la tumba 4D6, que está realizado en lámina calada formando un doble creciente. En el primero aparece un motivo de lágrima soldado a la lámina principal en su tercio inferior, rematado en un racimo de tres gránulos. Este mismo motivo se repite en el segundo creciente, encontrándose la lámina soldada en su totalidad al cuerpo (Alcalá-Zamora, 2003: 304, fig. 25,1). Ha sido fechado en el s. IV a.C.

Otros objetos. De Túgui es el colgante troncocónico de la sepultura 134 (Perea, 1991: 236, 268), confeccionado en fina lámina de oro que recubre una zona interna de pasta vítrea. En la parte superior lleva un carrete de suspensión. La decoración ha sido realizada mediante las técnicas del granulado y filigrana de hilo de oro: en el centro, una flor en filigrana y en la parte inferior lleva como motivos ornamentales una serie de racimos de uva (fig. 4). Perea (1991: 269) propone una datación amplia similar a los pendientes con racimo de vid del mismo yacimiento.

Del Cerro Perea (Écija Sevilla), descontextualizado, procede un anillo de plata con chatón que contiene pasta vítrea (De La Bandera, 1989: 149, fig. 19). Las paredes de chatón están decoradas con tres o cuatro triángulos de gránulos a modo de racimos invertidos. Uno de ellos contiene 22 gránulos y ha sido fechado por paralelos entre los ss. IV- II a.C.

Un ejemplo de dudosa identificación de *Vitis* se encuentra en el brazalete de plata de Mogón (Villacarrillo, Jaén). Forma parte de un tesoro sin contextualizar, aunque ha sido datado, por paralelos, en el s. I a.C. (Chaves, 1996: 700, lám. VI, 1-2). Consta de cuatro fragmentos laminares, tres de ellos moldurados y un cuarto liso, en cuyo extremo redondeado se ha plasmado una decoración incisa a base de motivos vegetales y geométricos. Entre los elementos vegetales se encuentran representaciones florales y siete ítems constituidos por tres pequeños gránulos, separados, dispuestos de forma triangular y con peciolo que se une a una guirnalda, que hemos reconocido como frutos y, aunque resulta tentadora su clasificación como racimos de vid, mantenemos por el momento su adscripción genérica.

Dejamos para el final, por ser la excepción a los objetos vistos hasta ahora, una copa de pie alto procedente de Santiesteban del Puerto (Jaén). Magnífico exponente de la tecnología de época helenística, su cronología se sitúa hacia el s. III a.C. (Raddatz, 1969: fig. 21; Jaeggi, 2004: 51, fig. 4). Elaborada en plata, presenta una compleja ornamentación vegetal y floral que se desarrolla en friso rodeando el borde y el pie. En él se representan dos pequeños racimos de diez gránulos con peciolo liso que se unen a guirnalda floral.

De la relación de objetos con motivos decorativos identificados como frutos de *Vitis* se deduce un uso ornamental con claro significado de riqueza, abundancia y lujo. Muchos de ellos han sido hallados en las necrópolis como prendas que el difunto se lleva consigo, en otros casos son parte de tesoros acumulados en vida. En todo caso, símbolo de riqueza por las materias primas con que están realizados (oro, plata) y tal vez por el significado de los motivos representados.

IV. CONCLUSIÓN

El proyecto HUM2004-04939/Hist ha generado una herramienta de trabajo que puede ser consultada por especialistas e interesados en la flora ibérica. La página de Internet http://www.uv.es/floraiberica está en funcionamiento desde mayo de 2008. Acumula toda la información publicada hasta 2007 sobre el uso real e imaginario de las plantas en el mundo Ibérico. En el ejemplo aquí presentado se puede concluir:

1. De *Vitis vinifera* L. se constata un uso más real y cotidiano que simbólico. *Vitis* fue destinada al consumo de sus frutos, bien en estado sólido o bien líquido. Sólo en 6 ocasiones se ha evidenciado el uso de su madera como combustible.
2. *Vitis* es una planta autóctona de la península Ibérica y crecía aquí mucho antes de la formación del mundo Ibérico, por tanto la expansión de su cultivo debió ser relativamente fácil.
3. *Vitis* entra en el imaginario ibérico por diversas influencias del Mediterráneo. Tal vez, las representaciones de racimos quieran significar riqueza, abundancia, fertilidad como pasa con otros frutos que albergan varias semillas.
4. Los restos orgánicos de *Vitis* o sus representaciones iconográficas aparecen en diferentes contextos arqueológicos: sobre todo doméstico, pero también en funerario y cultual.
5. En definitiva, en la cultura ibérica se constata un uso de *Vitis vinifera* L. más frecuente en lo material y real que en lo simbólico y en este caso siempre bajo influencias externas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia HUM2004-04939/Hist y la Conselleria d'Empresa, Universitat i Ciència de la Generalitat Valenciana ACOM06/012. Los autores quieren dar las gracias a todos los Museos, Instituciones y personas que han colaborado facilitando cualquier tipo de información para llevar a cabo dicho proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV. 1992: *La sociedad ibérica a través de la imagen.* Centro Nacional de Exposiciones. Madrid.

AA.VV. 2006: *Flora Celtica. Plants and People in Scotland.* Birlinn Limited. Edinburgh.

ADROHER, A. 2007: En http://www.ceab.es/investigación-2/50.html (Centro de Estudios de Arqueología Bastetana).

ALCALÁ-ZAMORA, L. 2003: *La necrópolis ibérica de Pozo Moro.* Real Academia de la Historia. Madrid

ALFARO, C. 1998: "Las emisiones feno-púnicas". En C. Alfaro, A. Arévalo, M. Campo, F. Chaves, A. Domínguez y P.P. Ripollés: *Historia monetaria de Hispania Antigua.* Jesús Vico. Madrid: 50-115.

ALMAGRO, M.J. 1986: *Orfebrería fenicio púnica del Museo Arqueológico Nacional.* Madrid.

ALONSO, N. 1999: "La agricultura de la primera Edad del Hierro y de la época Ibérica en el llano occidental catalán: problemática y nuevas aportaciones". En R. Buxo y E. Pons (eds): *Serie Monografica 18.* Museu d´Arqueologia de Catalunya. Girona: 127-138.

ALONSO, N. 2000: "Cultivos y producción agrícola en Época Ibérica". En C. Mata y G. Pérez (eds.): *Ibers. Agricultors, artesans i comerciants. III Reunió sobre Economia en el Mon Ibèric. Saguntum.* Extra 3: 25-46.

ANSON, L. 1976: *Numismata graeca: Greek coin-tipes classified for immediate identification.* Arnaldo Forni. Bologna.

ARANEGUI, C. (ed.) 1997: *Damas y caballeros en la ciudad ibérica. Las cerámicas decoradas de Llíria (Valencia).* Cátedra. Madrid.

AURA, J.E. Y SEGURA, J.M. (coord.) 2000: *Museu Arqueològic Municipal Camil Visedo Moltó Alcoi.* Ajuntament-Caja Ahorros Mediterráneo. Alcoi.

BRONCANO, S. 1989: *El depósito votivo ibérico de El Amarejo. Bonete (Albacete).* Excavaciones Arqueológicas en España 156. Madrid.

BORGONGINO, M. 2006: *Archeobotanica. Reperti vegetali da Pompei e dal territorio vesuviano.* Studi Della Soprintendenza Archeologica di Pompei 16. Roma.

CHAVES, F. (ed.) 1996: *Tesoros en el Sur de Hispania. Conjuntos de Denarios y Objetos de Plata durante los Siglos II y I a.C.* Fundación El Monte. Sevilla.

CHAVES, F. 1998: "Amonedación de las cecas latinas de la Hispania Ulterior". En C. Alfaro, A. Arévalo, M. Campo, F. Chaves, A. Domínguez y P.P. Ripollés. *Historia monetaria de Hispania Antigua.* Jesús Vico. Madrid: 287

CRAWFORD, M.H. 1974: *Roman Republican Coinage.* Cambridge University Press. Cambridge.

DE LA BANDERA, M.L. 1989: *La Joyería Prerromana de la Provincia de Sevilla.* Serie Arte Hispalense 49. Sevilla.

DELGADO, A. 1871 y 1876: *Nuevo método de clasificación de las medallas autónomas de España.* Sevilla.

DELORME, J. y ROUX, C. 1987: *Guide illustré de la faune aquatique dans l'art grec.* Juan-Les-Pins.

FRANKE, P.R.; MARATHAKI, I. 1999: *Wine and coins in Ancient Greece,* Athens: The Hatzimichalis Estate.

GARCÍA-BELLIDO, M.P. y BLÁZQUEZ, C. 2001: *Diccionario de Cecas y Pueblos Hispánicos.* CSIC. Madrid.

GRASSI, F.; LABRA, M.; IMAZIO, S.; OCETE RUBIO, R.; FAILLA, O.; SCIENZA, A. y SALA, F. 2006: "Phylogeographical structure and conservation genetics of wild grapevine". *Conservations Genetics* 7: 837-845.

GRAU, E. 2003: “Antracoanálisis del Castellet de Bernabé”. En P. Guérin: *El Castellet de Bernabé y el horizonte ibérico pleno edetano. Trabajos Varios del Servicio de Investigación Prehistórica 101*.València: 345-347.

GREEN, M. 1992: *Animals in celtic life and myths.* Ed. Routledge. London.

HEISS, A. 1870: *Description génerale des monnaies antiques de l'Espagne.* Imprimerie Nationale. París.

JAEGGI, O. 2004: “Vajillas de plata iberohelenísticas”. En R. Olmos y P.Rouillard (eds.): *La vajilla ibérica en época helenística: (siglos IV-III al cambio de era).* Seminario celebrado en la Casa de Velázquez (22-23 de enero de 2001). Madrid: 49-52.

LÓPEZ I REYES, D. 2004: “Primers resultats arqueobotànics (llavors I fruits) al jaciment protohistòric del Turó de la Font de la canya (Avinyonet del penedès)”. *Revista d’Arqueologia de Ponent* 14: 149-177.

LORRIO, A.J. 1995: “El armamento de los celtíberos a través de la iconografía monetal”. *Anejos Archivo Español de Arqueología* XIV: 75-80.

MATA, C.; BADAL, E.; BONET, H.; COLLADO, E.; FABADO, F. J.; FUENTES, M.; IZQUIERDO, I.; MORENO, A.; QUIXAL, D.; RIPOLLÈS, P.P.; SORIA, L. (2007): “De lo real a lo imaginario. Aproximación a la flora ibérica durante la Edad del Hierro”. *Anales de Arqueología Cordobesa* 18: 93-122.

NICOLINI, G. 1990: *Techniques des ors antiques, la bijouterie ibérique du VIIe au Ive siècle.* Paris.

OLMOS, R. (dir.) 1999: *Los iberos y sus imágenes.* Publicación en CD-ROM. Micronet S.A. y CSIC. Madrid.

PEREA, A. 1991: *Orfebrería prerromana. Arqueología del oro.* Madrid.

PÉREZ, G. 2000: “La conservación y la transformación de los productos agrícolas en el mundo ibérico”. En C. Mata y G. Pérez (eds.): *Ibers. Agricultors, artesans i comerciants. III Reunió sobre Economia en el Mon Ibèric. Saguntum*. Extra 3: 47-68.

PÉREZ, G.; ALONSO, N. y IBORRA, M. P. 2007: “Agricultura y ganadería protohistóricas en la Penísnula Ibérica: modelos de gestión”. En A. Rodríguez e I. Pavón (eds.): *Arqueología de la Tierra. Paisajes rurales de la protohistoria peninsular.* Cáceres. 327-373.

PÉREZ, J. y MATA, C. 1998: “Los motivos vegetales en la cerámica del Tossal de Sant Miquel (Llíria, València). Función y significado en los Estilos I y II”. *Saguntum. Papeles del Laboratorio de Arqueología de València.* Extra- 1: 231-243.

POVEDA, A. M. 1988: *El poblado ibero-romano de El Monastil.* Sección de Publicaciones del Excmo. Ayuntamiento de Elda 4. Elda.

QUESADA, F. 1997: *El armamento ibérico. Estudio tipológico, geográfico, funcional, social y simbólico de las armas en la Cultura Ibérica (siglos VI- I a.C.).* Monographies Instrumentum 3. Montagnac.

RADDATZ, K. 1969: *Die Schatzfunde der iberischen Halbinsel vom Ende des dritten bis zum Mitte des ersten Jahrhundrts von Chr. Geb.* Madrider Forschungen 5. Berlin.

RIVERA-NÚÑEZ, D. y OBÓN, C. 2005: “Las plantas y el hombre en el mundo ibérico en el SE de España”. En V. Page (dir.): *El museo de arte Ibérico El Cigarralejo de Mula. La colección permanente.* Dirección General de Cultura de la Región de Murcia. Museo de Arte Ibérico El Cigarralejo. Mula: 59-72.

RODRÍGUEZ-ARIZA, M.O. (2000): “La economía forestal de dos asentamientos ibéricos” . En C. Mata y G. Pérez (eds.): *Ibers. Agricultors, artesans i comerciants. III Reunió sobre Economia en el Mon Ibèric. Saguntum.* Extra 3: 133-138.

ROYO, J. I. y MINGUELL, J.A. 1992: “Restauración de materiales arqueológicos procedentes del Piquete de la Atalaya (Azuara, Zaragoza)”. *Arqueología Aragonesa* 1990: 383-388. Zaragoza.

RUIZ, A. y RODRÍGUEZ, M.O. 2003: “Paisaje y asentamiento entre los iberos de la cuenca del río Guadalquivir (s. VI al III a.n.e.)”. En *Ambiente e paessagio nella Magna Grecia.* Istituto per la Storia e l'Arqueologia della Magna Grecia-Taranto. Taranto: 261-278.

TERRAL, J.F. 2002: “Quantitative anatomical criteria for discriminating wild grapevine (Vitis vinifera ssp. sylvestris) from cultivated vines (Vitis vinifera ssp. vinifera)”. En S. Thiébault (ed.): *Charcoal analysis. Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses.* BAR International Series 1063: 59-64.

TORTOSA, T. 2004: “Tipología e iconografía de la cerámica ibérica figurada en el enclave de La Alcudia (Elche, Alicante)”. *Anejos de Archivo Español de Arqueología* XXX. Madrid: 71- 222.

VILLARONGA, L. (1994): *Corpus nummum hispaniae ante Augusti aetatem.* José A. Herrero S.A. Madrid.

LA INTEGRACIÓN DE LOS MATERIALES ARQUEOBOTÁNICOS EN EL ESTUDIO FUNCIONAL Y ESPACIAL DE LA CIUDAD CELTIBÉRICA DE SEGEDA

THE INTEGRATION OF THE ARCHAEOBOTANICAL MATERIALS IN THE FUNCTIONAL AND SPATIAL STUDY OF THE CELTIBERIAN CITY OF SEGEDA

GUILLEM PÉREZ JORDÀ[1], YOLANDA CARRIÓN MARCO[2], AMPARO VALCARCEL[1], FRANCISCO BURILLO[3]

1. Departamento de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de Valencia. Avenida Blasco Ibañez nº 22 46010 Valencia. e-mail guillem.perez@uv.es
2. UMR 6566 «Civilisations Atlantiques et Archéosciences», Université de Rennes 1,Bât. 24, Campus scientifique de Beaulieu 35042 Rennes CEDEX. E-mail: Yolanda.carrion@univ-rennes1.fr
3. Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de Teruel. Ciudad Escolar s/n 44003. e-mail: fburillo@unizar.es

RESUMEN

Durante las últimas campañas de excavación en la ciudad Celtibérica de Segeda hemos introducido un sistema de muestreo para las diferentes disciplinas paleobotánicas que nos permitan ir más allá de la clásica reconstrucción paleoambiental y paleoeconómica. La dispersión de semillas y polen nos aporta información sobre la funcionalidad de las diferentes áreas y los carbones nos permiten determinar el material constructivo y el utilizado en las diferentes áreas de combustión. Este trabajo se completa con el estudio dendrológico que nos aporta información sobre la recolección de la madera y el desarrollo de las formaciones vegetales.

ABSTRACT

During the last fieldwork campaigns carried out in the Celtiberian village of Segeda, systematic sampling methods have been put into practice in order to recover organic macro and micro remains and to apply a multidisciplinary study, further than the "classical" environmental and economical reconstructions. The distribution of these organic remains can be an evidence of the functionality of the different areas in the village. Thus, charcoal remains from timber and firewood allow delimiting construction and fireplace areas, respectively. Moreover, a dendrological analysis has provided complementary information about vegetation dynamics and human strategies in wood collecting.

Palabras clave: Celtibérico, Arqueobotánica, Carpología, Antracología, Palinología, Dendrología.

Key words: *Celtiberian, Archaeobotany, Carpology, Charcoal analysis, Palinology, Dendrology.*

Segeda es una ciudad Celtibérica que se desarrolla, en su primera fase, en torno a una pequeña elevación conocida como “El Poyo” (Mara, Zaragoza). La importancia alcanzada por esta ciudad queda de manifiesto por la declaración de guerra realizada por los romanos en el año 154 a.n.e., y que motivó el desplazamiento de la elección de los cónsules de los idus de marzo, día 15, a las calendas de enero, día 1, base de nuestro calendario actual. El cónsul Nobilior desplazó para atacarla 30.000 hombres y los segedenses se aliaron con los numantinos y lograron formar una tropa de 20.000 infantes y 5.000 jinetes. En el primer enfrentamiento, el 23 de agosto día de Vulcano, el ejército celtibérico salió victorioso, siendo declarado dicho día nefasto, por parte de Roma (Burillo, 2006).

El Proyecto Segeda incluye tanto la excavación y estudio del yacimiento como la protección del mismo y el desarrollo de un proyecto de gestión, difusión y desarrollo económico (para mayor detalle: www.segeda.net). Este trabajo es una muestra del planteamiento metodológico utilizado desde el año 2004 con la finalidad de introducir los materiales arqueobotánicos como un elemento más a la hora de realizar una lectura funcional y espacial de las áreas excavadas. El desarrollo de las tres disciplinas implicadas es desigual por lo que los datos con los que contamos hasta el momento de cada una de ellas no son completos en cada una de las zonas intervenidas.

I. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DEL MUESTREO ARQUEOBOTÁNICO

El sistema para la recogida de muestras se ha ordenado espacialmente con la finalidad de observar la distribución de los diferentes materiales en cada uno de los espacios excavados (Fig. 1).

Figura 1. Foto aérea en la que se observan las diferentes áreas de excavación y detalles de las mismas.

El muestreo se organiza de la siguiente forma:

- Por un lado se recogen sistemáticamente muestras sobre el pavimento distribuidas por toda la superficie excavada. Para los carbones y semillas las muestras tienen un mínimo de 10 l, mientras que para el polen se recoge una muestra de al menos 100 gr.
- Para el estudio del material constructivo se documentan en excavación los restos de madera carbonizada y se recogen muestras para determinar las especies y cuando es posible cortes completos para hacer el estudio dendrológico. Su aplicación sistemática al carbón arqueológi-

co es novedosa y permite complementar la información ecológica obtenida con la determinación botánica de la madera en este tipo de contextos donde ésta es limitada por la frecuente selección de especies.

- Las semillas se determinan por morfología con la ayuda de un microscopio estereoscópico trabajando entre 10 y 50 aumentos, con la ayuda de los diferentes atlas y de la colección de referencia. Para extraer las muestras de polen los sedimentos fueron tratatados según el método químico clásico (GCl, HF, KOH) con una posterior concentración en líquido denso (l. de Thoulet) filtrado sobre CO3 Ca. En los trabajos de laboratorio se añade una cápsula de un polen exógeno: el *Polypodium.* Una vez finalizada los tratamientos la aparición de este tipo de taxón nos indica que el tratamiento ha sido correcto y que la ausencia de otro tipo de granos se debe principalmente a su mala conservación, como ha sido el caso de este muestreo. El análisis de los carbones se efectúa en el laboratorio con el uso de un microscopio metalúrgico y la ayuda de libros de anatomía vegetal y de una colección de referencia de madera actual carbonizada. Uno de los principios básicos de la Dendrologia es que los anillos de las plantas registran cualquier evento de orden climático o antrópico que afecte a su crecimiento, y que reflejan la densidad de la formación vegetal en la que se desarrollan. Su medición se realiza a través de una lupa binocular, sobre un banco que permite un desplazamiento de 0,01 mm. Esta observación a bajos aumentos permite destacar otras variables de la madera, como la presencia de alteraciones anatómicas, la curvatura de los anillos para la estimación del calibre mínimo o las marcas de trabajo, entre otras.

La finalidad de los restos carpológicos y palinológicos es utilizarlos junto al resto de materiales arqueológicos como un elemento más para la definición de las actividades realizadas en cada uno de los espacios excavados, intentando identificar las áreas de almacenamiento y de procesamiento que pudiera haber dentro de las diferentes estancias.

Con el estudio antracológico se pretende, por una parte, observar cuáles son los elementos seleccionados como material constructivo, si hay diferencias entre los diferentes sectores de la ciudad, y definir los patrones del combustible utilizado en las diferentes estructuras de combustión.

Al mismo tiempo el análisis dendrológico de los carbones de gran tamaño recuperados en el Área 5 ha aportado datos complementarios sobre la recolección de madera y la dinámica de desarrollo de las formaciones vegetales explotadas.

Con todo ello pretendemos en definitiva integrar estos materiales como un elemento más a la hora de valorar las actividades realizadas en cada uno de los espacios y de esta manera determinar en la medida de lo posible su funcionalidad.

II. RESULTADOS

II.1. Antracología y dendrología en Segeda

II.1.1. Los carbones arqueológicos

En Segeda se ha documentado la presencia generalizada de madera carbonizada en diferentes contextos del poblado. En el Área 4 se ha recuperado un total de 1.435 carbones procedentes del nivel de ocupación y de diversas estructuras de combustión. Del Área 5 procede un conjunto de grandes fragmentos de carbón (34 muestras) pertenecientes a una gran plataforma enlosada y elevada con adobes, de cronología contemporánea a los anteriores. Su función, si bien inicialmente se pensaba que podría corresponder a un “fortín”, dada su forma cuadrangular en las fotografías aéreas antiguas y su proximidad a la

muralla, las excavaciones realizadas han demostrado que corresponde a una estructura monumental, de funcionalidad no determinada que marcaría un hito en una de las entradas de la ciudad. En la primera, se trata de carbones de tipo disperso, bien procedentes de la dispersión de las estructuras de combustión, bien de restos constructivos, y representan todo el elenco de especies recolectadas para diversas actividades. En algunos casos se ha excavado directamente el contenido de la estructura de combustión, donde aparecen los restos de los últimos aportes de leña (Chabal, 1997). En cuanto a la madera de construcción, caso de los carbones recuperados en el Área 5, ésta suele ser resultado de una selección de las especies idóneas para este fin, atendiendo a sus cualidades físicas y mecánicas, por lo que nunca son un buen indicador porcentual de las formaciones vegetales existentes en el lugar.

La presencia de estos materiales denota una explotación sistemática de los recursos vegetales existentes alrededor del lugar de hábitat, para fines tanto domésticos (combustible para hogares) como especializados (hornos metalúrgicos, construcción en madera), y comparten la problemática (estratigráfica, funcional, espacial, etc.) del resto de los materiales hallados en el yacimiento. La identificación botánica de las especies utilizadas permite la reconstrucción de las formaciones vegetales existentes en el lugar (Chabal, 1997). Esto se complementa con el análisis dendrológico, que permite detectar eventos de tipo climático, mecánico o antrópico que afectan directamente al crecimiento de la planta (Marguerie, 1992). Por otro lado, el análisis de la distribución espacial de los restos y de las especies utilizadas en sendas áreas del poblado permite establecer las diferencias funcionales entre éstas, así como la aproximación a los recursos vegetales empleados en cada una de las actividades.

II.1.2. Distribución espacial de los taxones y aproximación funcional

En las Áreas 4 y 5 de Segeda se ha documentado la presencia de los siguientes taxones vegetales: Coniferae, *Fraxinus* sp. (fresno), *Juniperus* sp. (enebro y/o sabina), Maloideae, *Pinus halepensis* (pino carrasco), *Pinus nigra-sylvestris* (pino salgareño-albar), *Pinus* tp. *pinea-pinaster* (pino piñonero-marítimo), *Pinus* sp., *Pistacia terebinthus* (cornicabra, terebinto), *Prunus* sp., *Quercus* caducifolio (roble, quejigo), *Quercus* perennifolio (encina, carrasca, coscoja), *Salix-Populus* (sauce-chopo) e Indeterminable (Lám. I). La mayor parte de ellos corresponde a taxones arbóreos, siendo llamativa la casi total ausencia de taxones de matorral, lo que puede venir marcado por una recogida selectiva. A grandes rasgos, se docu-

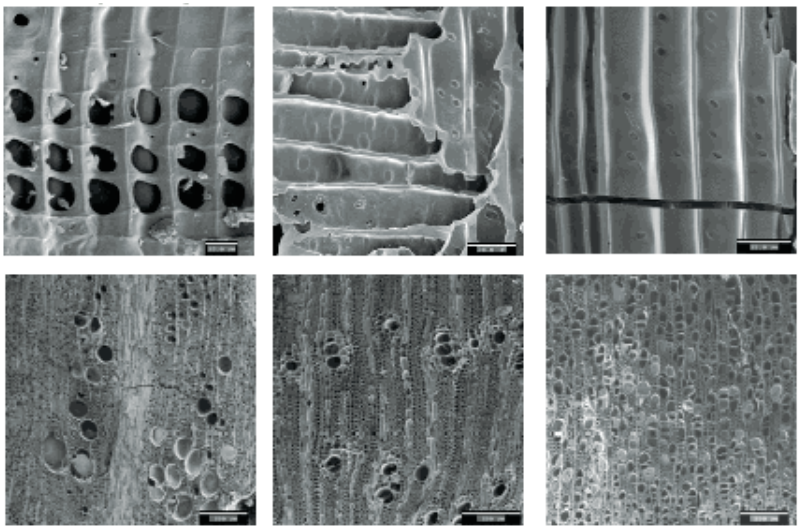


Lámina I. Algunos de los taxones identificados en las Áreas 4 y 5 de Segeda. 1: *Pinus nigra-sylvestris,* plano radial; 2: *Pinus halepensis,* plano radial; 3: *Juniperus* sp., plano radial; 4: *Quercus* caducifolio, plano transversal; 5: *Fraxinus* sp., plano transversal; 6: *Salix-Populus,* plano transversal.

mentan dos grupos de taxones correspondientes a sendos ambientes ecológicos. Por un lado, las coníferas, dominantes en el carbón de Segeda, son especies heliófilas colonizadoras de suelos empobrecidos, que generan paisajes abiertos. Por otro lado, *Fraxinus* sp., *Salix-Populus, Prunus* sp., *Quercus* caducifolio, etc. necesitan cierto grado de humedad ambiental o edáfica, de manera que podrían asociarse a formaciones de ribera o pequeños enclaves más benignos para su desarrollo. Todos los taxones identificados se integran perfectamente en un paisaje abierto, de transición entre la media montaña, y el sistema de ramblas que conforman la cabecera del río Jalón. Una buena muestra del carácter de transición del entorno de Segeda es la presencia de al menos tres especies de pino, con diferentes exigencias ecológicas, documentada también en otras zonas de media montaña de la región (Badal, 2004). Además, la presencia del pino piñonero y/o marítimo en el carbón de Segeda aporta nuevos datos a la problemática del carácter autóctono de estas especies en la Península (Badal, 1998, 2001; Figueiral y Terral, 2002; Figueiral, 1995; Aira *et al.,* 1989; Ramil-Rego, 1992; Reille y Andrieu, 1995; Mateus y Queiroz, 1993; Dupré, 1988; Carrión *et al.,* 2000).

Si atendemos a la distribución espacial de los taxones, parece que en el Área 4 existe cierta heterogeneidad en su repartición por los diferentes sectores y espacios a pesar de que se trata de un mismo nivel de ocupación (figura 2A), prueba de la importancia de muestrear toda la superficie excavada con el fin de obtener unos resultados representativos a nivel de cualitativo y cuantitativo. Es cierto que los taxones con mayores porcentajes, esto es, los enebros y los pinos, aparecen de forma recurrente en un gran número de muestras, pero en el resto, se detectan diferencias notables. Es el caso del alto porcentaje de *Pinus halepensis* y *Prunus* en el Sector1-Espacio2, de *Pinus* tp. *pinea-pinaster* en el Sector1-Espacio3, y el porcentaje de *Salix-Populus,* así como la ausencia de otros taxones en el Sector2-Espacio1.

Esta heterogeneidad podría deberse a una escasa dispersión del carbón a partir de las estructuras de combustión. En la Figura 2B se puede observar la comparación de los porcentajes de los taxones identificados en dos estructuras y del carbón disperso en el espacio correspondiente. Como se ha mencio-

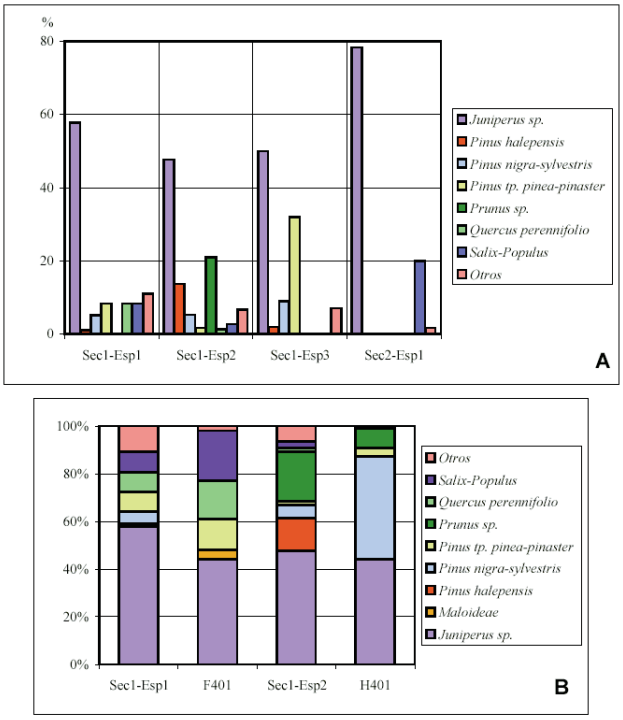


Figura 2. Repartición espacial de los taxones identificados en Segeda. A: Porcentajes de los taxones identificados en los sectores y espacios del Área 4. B: Comparación entre los porcentajes de los taxones identificados en las estructuras de combustión del Área 4 (F401 y H401) y en el carbón disperso del espacio correspondiente (Esp. 1 y 2).

nado, las estructuras, por su naturaleza, contienen un reducido número de especies, que constituyen la imagen del último combustible aportado. Según esta pauta, las estructuras F401 y H401 contienen un menor número de taxones que el nivel al que se asocian. De esta forma se puede explicar la presencia bastante importante de *Prunus* en el Sector 1-Espacio 2, y la presencia de *Quercus* perennifolio en el Sector 1-Espacio 1, siendo casi inexistente en el resto del yacimiento.

Para la construcción de la estructura del Área 5 se han utilizado únicamente dos taxones: *Pinus nigra-sylvestris* y, en menor medida, *Juniperus* sp. Su utilización parece indicar la disponibilidad de éstos en el medio más o menos cercano, pero se han seleccionado entre todo el elenco de especies disponibles, probablemente en función de las cualidades de su madera. Los pinos en general suelen generar fustes rectos, muy apropiados para la construcción, y su uso está bien documentado en otros yacimientos de similar cronología (Grau, 1990).

II.1.3. Reconstruyendo el bosque: las maderas del Área 5

La morfología de los anillos de las plantas es un reflejo directo del crecimiento en grosor del individuo y de cualquier estímulo externo que haya alterado este ritmo, sea climático o antrópico. La presencia de carbones de gran tamaño en Segeda ha permitido la observación macroscópica de sus anillos, así como la medición de sus anchuras sobre un banco dendrológico, datos que permiten inferir en cuestiones ecológicas (densidad del bosque), climáticas (años de sequía, heladas) o antrópicas (prácticas forestales cíclicas).

El análisis dendrológico ha revelado que el crecimiento de los individuos del Área 5 de Segeda es muy lento en general, de 0,68 mm. por año (media obtenida a partir de 2.357 anillos). El crecimiento actual de los individuos de la misma especie muestreados en una zona cercana al yacimiento ha dado como resultado un valor de 1,94 por lo que podemos suponer que las formaciones serían bastante más densas que en la actualidad.

La distribución de anchuras medias de los anillos refleja una tendencia unimodal (fig. 3), estando la mayor parte de valores entre 0,25 y 1 mm de anchura de anillo, lo que se traduce en que todos los individuos aportados al Área 5 se talaron dentro de una misma formación, probablemente de únicamente 3 ó 4 árboles (Carrión, e.p.), lo que resulta coherente con el carácter puntual del episodio de construcción de la estructura.

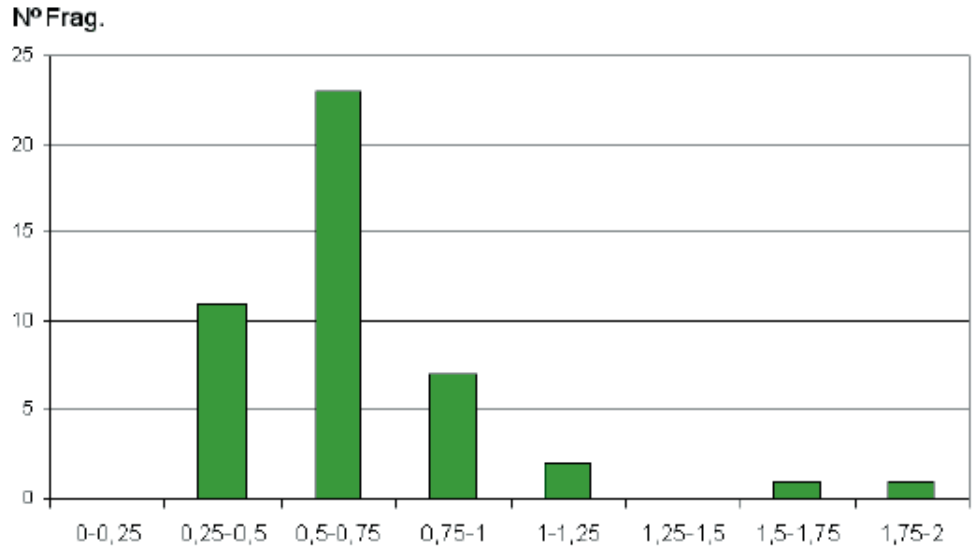


Figura 3. Histograma de los valores medios de anchura de los anillos de *Pinus nigra-sylvestris* del Área 5.

II.2. Carpologia

Los datos carpológicos proceden básicamente del Área 4, en la que se ha realizado un estudio de la distribución de los materiales por toda el área excavada.

En el cuadro adjunto (Tabla 1) se observan los restos recuperados en cada una de las muestras ordenados por ambientes. Las especies representadas (Lámina II) son prácticamente las mismas que ya detectamos en los anteriores trabajos. Los cereales son siempre y con diferencia el grupo más frecuente. Entre ellos parece darse un cultivo prácticamente monoespecífico de los trigos desnudos, mientras que la cebada y los mijos parecen tener un papel marginal. En ningún caso parece observarse ninguna mezcla de especies que nos hiciera pensar en el uso del mixtellum, la mezcla de diferentes cereales en el mismo campo como medida para eliminar los riesgos de una mala cosecha. Sí que hemos comentado la presencia de algunas cariópsides poco desarrolladas, aunque en un número siempre reducido por lo que no creemos que pueda estar indicando unas malas condiciones de desarrollo. Es habitual que algunas de las cariópsides que se ubican en la parte baja de la espiga tengan un menor desarrollo, lo que explicaría esta presencia. La diferenciación entre formas compactas y laxas no creemos que responda a la existencia de dos variedades diferentes, ya que en ningún caso ni en este yacimiento ni en ningún otro de la Península Ibérica, se ha podido constatar una concentración de trigos sólo de formas compactas. Siempre aparecen mezclados con las formas laxas y en un número siempre menor, por lo que nos inclinamos por pensar que se trata en realidad de una variación morfológica generada por la ubicación de las cariópsides en la espiga.

	E 1.1								E 1.2																E 1.3		E 2.1		
n¼ mostra	T.2	T.3	T.4	T.7	T.8	T.10	T.14	T.15	T.25	T.1	T.5	T.6	T.11	T.12	T.13	T.16	T.17	T.19	T.20	T.21	T.22	T.28	T.29	T.30	T.31	T.23	T.26	T.16	T.24	T.27
vol L.	9	13	22	37	22	30	6	4	20	8	30	30	28	20	12	25	8	20	25	1	25	20	20	30	20	20	25	25	30	30
Hordeum vulgare L.																														1
Hordeum sp.			1																											
Triticum aestivum-durum		34	278	230	231	1		7	8			2				2	1		1					85	2	46	7	2	3	1
Triticum aestivum tipo compacto		2	12	34	25				3													2		15		7	3			
Triticum sp.		2		7																1										
Trit sp. Frag.										1																				
Cerealia frag.			408	378	375	2	1	3	9		3	2	2	4		6	3	1	2				1	181	12	100	9	6	2	
Masa de pan?																										x				
Vitis vinifera			1	1								1						2	1			1	1				6			
Chenopodium album							1					1							1			2	1							
Galium sp.											1																			
Graminea																										1				
Polygonum aviculare							1				1																			
Polygonum sp.																								1						
Setaria sp.																1												1		
Indet.											1																			
n¼ restos	0	38	292	272	256	1	2	7	11	0	3	4	0	0	0	3	1	2	3	1	0	5	2	101	2	54	16	3	3	2
n¼ taxones	0	2	4	3	2	1	2	1	2	0	3	3	0	0	0	1	1	1	3	1	0	3	2	3	1	3	3	1	1	2
densidadx10l.	0	29	133	74	116	0	3	18	6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	10	0	3	1	34	1	27	6	1	1	1

Tabla 1. Restos carpológicos recuperados en las muestras del Área 4.

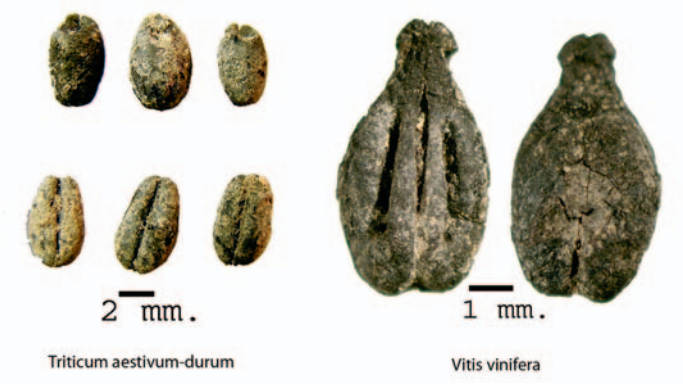


Lámina II. Principales restos carpológicos.

Los trigos desnudos suelen ser el cereal más apreciado para la alimentación humana, aunque los datos de la Península Ibérica en muchos casos avalan la importancia de la cebada vestida con el mismo fin. El problema en este caso es explicar por qué la cebada es la más representada entre las improntas de adobes mientras que está prácticamente ausente en las áreas de hábitat. Este hecho podría estar explicado por que se realizara un uso diferenciado de cada uno de estos cultivos. Se destinaría el trigo para la alimentación humana, mientras que la cebada se destinaría como complemento para la alimentación del ganado.

Por otra parte la justificación de su mayor presencia entre las improntas de las estructuras de tierra podría estar explicada en que al tratarse de una variedad vestida, genera un mayor volumen de residuos que pueden reutilizarse para la alimentación del ganado y como elemento de construcción. Debemos de todas formas seguir trabajando con ambos tipos de restos para poder confirmar estos datos.

No hemos documentado la presencia de leguminosas, por lo que de nuevo nos encontramos ante un caso en el que estos cultivos no parecen tener un peso destacado en la actividad agraria.

Los restos de vid nos permiten confirmar el cultivo de la vid en la ciudad de Segeda, como podíamos pensar ante la anterior documentación del lagar localizado en el área 2 (Burillo *et al.,* 2007). Aunque tanto el número de pepitas recuperadas como la frecuencia de aparición en muestras es escaso. No se documenta ninguna concentración ni un área en la que sean más frecuentes. Aparecen como un material que debe estar incorporado como residuo en los suelos de las estancias y en ningún caso estamos ante un área de procesamiento de este producto ni en el que puedan estar almacenados. Las frecuencias detectadas hasta el momento de este cultivo son mucho menos destacadas que las que observamos en los yacimientos ibéricos del País Valenciano, y recuerdan más a los datos aportados en la zona catalana (Pérez Jordà *et al.,* 2007). Estaríamos por tanto ante un área en la que la orientación de la producción agraria es básicamente cerealística, aunque el cultivo de la vid y la elaboración del vino juegan un papel destacado.

Si observamos la Figura 4, en la que se presentan las densidades de las muestras recuperadas, vemos que la zona en la que parece concentrarse el almacenamiento es básicamente la E.1.1 donde observamos hasta 5 muestras con una densidad alta y una media de 42 restos. De las 9 muestras analizadas sólo una no ha aportado ningún resto, mientras que 5 de ellas tienen una densidad destacada. El material se encuentra concentrado en la mitad norte de la estancia y podría responder a la presencia de dos o más contenedores que se encontraran ubicados en esta zona.

En la E.1.2 se han recuperado 16 muestras de las cuales 5 no han aportado ningún resto, mientras que sólo la T.30 presenta una densidad destacada. Nos encontramos ante un espacio en el que sólo en el ángulo NO parece encontrarse un posible contenedor de cereal, mientras que en el resto de la estancia sólo se documentan algunos restos dispersos por el sedimento.

El número de muestras recuperados en las estancias E.1.3 y E.2.1 es realmente escaso para poder observar cuál es la distribución del material en ellos y sólo la muestra T. 23 en la primera estancia presenta una densidad destacada.

II.3. Palinología

El muestreo desarrollado hasta el momento en el Área 7 no ha aportado resultados, ya que las 7 muestras recuperadas, o son estériles o tienen muy poco polen; esto puede estar explicado por procesos postdeposicionales o por efecto del calor del incendio que destruye la ciudad. El total de granos de polen

Figura 4. Distribución y densidad de las muestras analizadas en el área 4.

recuperados en las 7 muestras asciende a 144, un número demasiado bajo que no permite aproximarse al paisaje de Segeda. De los granos encontrados, el mayor número (72) corresponde a las gramíneas, 35 a *Pinus* sp., 31 a *Chenopodium* sp. y 6 a *Alnus.*

El planteamiento actual es seguir con el muestreo con la finalidad de observar si en otras áreas la conservación es mejor y, a partir de esto, comprobar la utilidad del polen a la hora de definir la funcionalidad de los espacios.

III. CONCLUSIONES

El sistema de muestreo seguido durante estas últimas campañas nos ha permitido comprobar las posibilidades de los materiales bioarqueológicos a la hora de complementar el resto de la información arqueológica.

El análisis antracológico de las áreas 4 y 5 de Segeda ha puesto de manifiesto la repartición espacial desigual de los taxones vegetales, no sólo entre ambas áreas, que denotan claramente una diferente funcionalidad, sino dentro del mismo sector. Por ello, resulta adecuado muestrear de forma sistemática todo el espacio excavado, ya que de otro modo se puede perder una interesante información acerca del uso y dispersión de los materiales en el yacimiento.

El conjunto de los taxones utilizados en Segeda remite a la presencia abundante de coníferas, que dan lugar a formaciones abiertas, como corrobora la abundancia de pinos y *Chenopodium* en el registro polí-

nico, y en menor medida, algunos caducifolios que bien se podrían asociar a zonas húmedas de los fondos de valle. La presencia de polen de *Alnus,* raramente documentado en el registro antracológico en ámbito mediterráneo, sugiere una procedencia no local del mismo.

La diferente representación de los taxones en cada contexto denota la selección de determinadas especies vegetales, caso de los pinos para la construcción, como han revelado las maderas del Área 5. Además, existe en general una sobre-representación de las especies arbóreas, posiblemente por la voluntad de obtener madera de gran calibre. El análisis dendrológico ha demostrado que esta colecta de madera se realizó dentro de una misma formación, con un crecimiento anual mucho menor que el de los individuos que crecen hoy en día en las inmediaciones del yacimiento, lo que se traduce en la existencia de una formación mucho más densa que la actual.

La distribución de los restos carpológicos en el Área 4 nos ha mostrado las posibilidades de diferenciar las áreas de almacenamiento y, como pudimos comprobar en otro yacimiento (Pérez Jordà, 2004), el sistema permite determinar las áreas en las que se produce el procesamiento de las cosechas y las zonas de elaboración de alimentos. En esta área habremos de esperar al estudio de los materiales recuperados en la campaña del año 2007 y al análisis de las muestras de polen que, en el caso de no ser estériles, nos podrían permitir plantear un estudio más amplio de la zona, aunque ya hemos podido observar las posibilidades que ofrece a la hora de determinar las actividades desarrolladas en los diferentes ámbitos.

BIBLIOGRAFÍA

AIRA RODRÍGUEZ, M.J. SAÁ OTERO, M.P. Y TABOADA CASTRO, T. 1989: "Estudios paleobotánicos y edafológicos en yacimientos arqueológicos de Galicia". *Arqueoloxía/Investigación,* 4. Xunta de Galicia. Consellería de Cultura e Deportes: 134 pp.

BADAL, E. 1998: "El interés económico del pino piñonero para los habitantes de la Cueva de Nerja". En Sanchidrián y Simón (Eds.): *Las culturas del Pleistoceno superior en Andalucía.* Patronato de la cueva de Nerja: 287-300.

BADAL, E. 2001: "La recolección de piñas durante la prehistoria en la Cueva de Nerja (Málaga)". En V. Villaverde, (Ed.): *De Neandertales a Cromañones. El inicio del poblamiento humano en tierras valencianas.* Universitat de València: 101-104.

BADAL, E. 2004: "El análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de Los Baños (Ariño, Teruel)". En P. Utrilla, y J.M. Rodanés (eds.): *Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de Los Baños (Ariño, Teruel).* Monografías Arqueológicas Universidad de Zaragoza, 39: 63-74.

BURILLO, F. 2006: "Segeda en su contexto histórico, entre Catón y Nobilior (179-153 a.C.)". *Estudios Celtibéricos 2,* Centro de Estudios Celtibéricos, Mara (Zaragoza).

BURILLO, F.; CANO, M.A. Y LÁZARO, J., 2007: "Vivir el vino en la ciudad celtibérica de Segeda", *IV Congreso Internacional sobre Musealización de Xacementos Arqueolóxicos.* Conservación e Presentación de Xacementos Arqueolóxicos no Medio Rural. Impacto Social no Territorio, V, Santiago de Compostela (2006): 385-390.

CARRIÓN MARCO, Y. 2008: "Woodland in the middle Ebro valley (Spain). Dendrological analyses of archaeological timber from Bell Baker and Iron Age periods" *Archéosciences* 31: 151-161.

CARRIÓN, J.S., NAVARRO, C., NAVARRO, J. & MUNUERA, M. 2000: "The distribution of cluster pine (Pinus pinaster) in Spain as derived from palaeoecological data: relationships with phytosociological classification". *The Holocene* 10: 243-252.

CHABAL, L. 1997: “Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). L’anthracologie, méthode et paléoécologie“. *Documents d’Archéologie Française.* Paris, 188 pp.

DUPRE, M. 1988: “Palinología y Paleoambiente. Nuevos datos españoles. Referencias“. *Servicio de Investigación Prehistórica, Serie de Trabajos Varios,* 84. Diputación Provincial de Valencia. 160 pp., 25 lám.

FIGUEIRAL, I. 1995: “Charcoal analysis and the history of *Pinus pinaster* (cluster pine) in Portugal”. *Review of Palaeobotany and Palynology* 89: 441-454.

FIGUEIRAL, I. Y TERRAL, J.-F. 2002: “Late Quaternary refugia of Mediterranean taxa in the Portuguese Estremadura: charcoal based palaeovegetation and climatic reconstruction”. *Quaternary Sciences Review* 21: 549-558.

GRAU, E. 1990: *El uso de la madera en yacimientos valencianos de la Edad del Bronce a época visigoda. Datos etnobotánicos y reconstrucción ecológica según la antracología.* Tesis Doctoral. Universitat de València.

MARGUERIE, D. 1992: “Evolution de la végétation sous l‘impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques”. *Travaux du Laboratoire d’Anthropologie de Rennes* 40, 313 pp.

MATEUS, J.E. Y QUEIROZ, P.F. 1993: “Os estudos de vegetação quaternária em Potugal; contextos, balanço de resultados, perspectivas”. *O Quaternário em Portugal, Balanço e Perspectivas:* 105-131. Lisboa.

PÉREZ JORDÀ, G. 2004: “Cultivos y prácticas agrarias”. En A. Rodríguez Díaz (Ed.). *El edificio protohistórico de La Mata (Campanario, Badajoz) y su estudio territorial.* Consejería de Cultura de la JEx. Universidad de Extremadura, Asamblea de Extremadura, Diputación Provincial de Badajoz y CEDER "La Serena". Cáceres: 385-422

PÉREZ JORDÀ, G.; ALONSO MARTÍNEZ, A. Y IBORRA ERES, M.P: 2007: “Agricultura y ganadería protohistóricas en la Península Ibérica: modelos de gestión”. En A. Rodríguez Díaz e I. Pavón Soldevila (eds). *Arqueología de la tierra. Paisajes rurales de la protohistoria peninsular.* Cáceres. Universidad de Extremadura: 327-372.

RAMIL-REGO, P. 1992: *La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrinales de Lugo a través del análisis polínico.* Tesis doctoral. Universidade de Santiago de Compostela. 356 pp.

REILLE, M. Y ANDRIEU, V. 1995: “The late Pleistocene and Holocene in the Lourdes basin, Western Pyrénées, France: new pollewn analytical and chronological data”. *Vegetation History and Archaeobotany* 4: 1-21.

RASGOS MEDIOAMBIENTALES Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS LEÑOSOS EN LA VEGA DEL SEGURA DURANTE EL SIGLO I D.C.

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS AND WOOD RESOURCES MANAGEMENT IN THE SEGURA BASIN DURING THE 1st CENTURY A.D.

MARÍA SOLEDAD GARCÍA MARTÍNEZ[1], GONZALO MATILLA SÉIQUER[2]

(1) Becaria predoctoral, Dpto. de Biología Vegetal (Botánica), Facultad de Biología, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Espinardo (Murcia). msgarmar@um.es
(2) Profesor asociado, Área de Historia Antigua, Facultad de Letras, Universidad de Murcia. C/ Santo Cristo, 1. 30001 Murcia. gmatilla@um.es

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados preliminares del estudio antracológico llevado a cabo sobre los niveles romanos (s. I d.C.) de la zona de servicios del Balneario Romano de Archena (Murcia). En este lugar, situado a pocos metros del cauce del río Segura, se ha podido documentar un complejo protegido por un malecón que ha tenido dos usos diferenciados: un primero destinado a los servicios invisibles y un segundo destinado a los servicios hosteleros. El registro obtenido refleja la dualidad entre la vegetación de tipo mediterráneo esclerófilo, ya bastante degradada, que se desarrollaría en las lomas calizas cercanas, frente a la existencia de un bosque galería bien estructurado, jalonando el curso del río Segura. El estudio de varias estructuras de combustión revela que el aprovisionamiento de los recursos leñosos no estuvo sujeto a procesos de selección del combustible, sino condicionado por la disponibilidad y abundancia de las especies en el entorno.

ABSTRACT

This work presents the first results of the anthracological study carried out on the Roman levels (I century AD) of a service zone located next to the Roman Thermal Baths of Archena (Murcia, Spain). Here, beside the Segura basin, we identified a public building and a Roman mansio. The data show the development of semiarid Mediterranean species on the nearby calcareous scrublands, as well as the existence of well-structured gallery forest bordering the Segura River. The fuelwood supply was mainly provided from areas near the site, and no wood selection process was detected.

Palabras clave: Sureste Ibérico Semiárido, Antracología, Paleoecología, Paleoeconomía, Combustible, Romano, Balneario.

Key words: *Semi-arid Southeastern Iberia, Anthracology, Palaeoecology, Paleoeconomy, Fuelwood, Roman period, Spa.*

I. SITUACIÓN Y CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

El Balneario se encuentra ubicado en el Sureste de la Península Ibérica, a pocos kilómetros de la capital murciana, en el municipio de Archena e inmediato al río Segura, en una estrecha franja (400 m de longitud por 60 m. de ancho) que se forma por la conjunción de la ladera de margas del Cabezo del Ciervo y los márgenes arenosos del río (Matilla Séiquer, 2007).

Figura 1. Localización del yacimiento en la Región de Murcia.

Para construir infraestructuras se usan las dos terrazas que hay entre monte y ribera, siendo la inferior de inundación, lo que ocasionó no pocos problemas durante el período de uso de las aguas mineromedicinales por los romanos. Se trata de un lugar inadecuado para una instalación permanente que sólo se justifica porque la necesidad de un balneario es mayor que el peligro que supone invertir en un sitio tan problemático (Matilla Séiquer y Adrados Bustos, en prensa). Los romanos generaron tres espacios con usos diferenciados en el balneario. Uno médico-religioso en torno a la surgencia y aguas abajo de la misma, en la terraza de inundación, otro administrativo en la zona de la surgencia pero en la terraza superior y un tercero de servicios aguas arriba que ocupa ambas terrazas (Matilla Séiquer, en prensa). Este último se ha podido excavar en extensión, ofreciendo los usos y la cronología siguiente:

FASES	CRONOLOGÍA	USOS	RESTOS	HISTORIA
I	2ª mitad del siglo I a.C.	Área de Fabricación y acopio de materiales de construcción	Cantería Hornos de teja	Se construye el balneario por un *privatus*
II	Augusto-Calígula	Zona de servicios invisibles	Almazara Talleres	Primer uso del balneario
Una riada destruye casi por completo el balneario				
III, 1	Claudio-Nerón	Zona de servicios invisibles + Zona administrativa	Edificio público + Talleres	Reconstrucción del balneario por los duoviros. Aumento del volumen de negocio
III, 2	Nerón-¿Domiciano?	Zona de servicios visibles	*Mansio*	Se multiplica el volumen de negocio
Abandono de las instalaciones a causa de la escasez de visitantes				
IV	Domiciano	Ocupación residual	Hogares	El balneario sigue siendo una referencia pero su uso es ocasional. Las infraestructuras han desaparecido.

Tabla 1. Cuadro de cronología y usos del yacimiento.

Las continuas reformas y las no menos continuas inundaciones y riadas han hecho desaparecer los hogares domésticos e industriales. Aunque el material leñoso es abundante en todo el yacimiento, pocas son las estructuras de combustión que se han conservado. Corresponden a los hogares 271 (Fase II), 314 (Fase III,1), 178 (Fase IV) (Matilla Séiquer, 2006) y al horno de teja (Fase I).

Cabe destacar un inmenso vertedero fuera del complejo que se utiliza durante toda la Fase III (UE 306) y un conjunto de pequeños vertederos exteriores de las Fases II-III (UUEE 301-302), como zonas de acumulación de carbones.

II. CLIMA Y VEGETACIÓN DEL ENTORNO ACTUAL DEL YACIMIENTO

El clima de Archena es de tipo mediterráneo semiárido, con una temperatura media anual de unos 18º C y un volumen de precipitaciones muy bajo, que apenas supera los 300 mm. anuales.

El tapiz vegetal es bastante reducido y está fuertemente degradado como consecuencia de las actividades de urbanización de la zona. Además, la explotación agrícola del valle fluvial está dominada por un cultivo tradicional de regadío, huerta, frutales y principalmente agrios, que actualmente ocupa casi la totalidad del municipio de Archena, extendiéndose más allá de la vega del río.

La vegetación de esta zona presenta grandes contrastes entre dos ambientes claramente diferenciados:

De un lado, en las lomas de areniscas, margas y calizas cercanas al yacimiento, como Cerro del Ope (276 m) o la Sierra de la Serreta (240 m), la vegetación está constituida casi exclusivamente por formaciones de matorral. En ellas aparecen especies arbustivas esclerófilas como *Rhamnus lycioides* o *Pistacia lentiscus,* pero dominan principalmente las extensiones de esparto *(Stipa tenacissima),* además de labiadas como los tomillos *(Thymus* sp.) y romeros *(Rosmarinus officinalis)* y también diferentes especies de leguminosas, compuestas y cistáceas. Los elementos arbóreos existen solamente de forma aislada, como es el caso de algunos individuos de pino carrasco *(Pinus halepensis)* y olivo *(Olea europaea),* aunque mayoritariamente se trata de ejemplares jóvenes que se han replantado como parte del trabajo de recuperación de la vegetación de la zona gestionado por el actual Balneario de Archena.

Frente a esto, el tramo del río que bordea los Baños de Archena está jalonado por comunidades hidrófilas, en peligro de desaparición en gran parte de la vega del Segura. En la franja más cercana al río, se desarrollan cañaverales *(Arundo donax)* y carrizos *(Phragmites australis).* Esta vegetación se completa principalmente con álamos blancos *(Populus alba),* autóctonos en este paraje de los Baños (Ríos y Alcaraz, 1996), y tarayes *(Tamarix* sp.), acompañados de algún chopo aislado *(Populus nigra),* zarzas *(Rubus ulmifolius),* rosas silvestres *(Rosa* sp.) y madreselvas *(Lonicera* sp.). Elementos como el fresno *(Fraxinus angustifolia),* sin embargo, están ausentes en esta zona, ya que en la Región de Murcia actualmente suelen aparecer más asociados a fondos de valles y barrancos húmedos que a bosquetes galería (Ballester, 2003; Ríos y Alcaraz, 1996; Sánchez Gómez *et al.,* 1998). Gran parte de la vegetación que encontramos hoy junto al río fue también replantada, por lo que aparecen elementos alóctonos como el eucalipto.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

Para poder llevar a cabo el estudio antracológico, durante el proceso de excavación se ha efectuado un muestreo sistemático del sedimento de las diferentes unidades estratigráficas definidas. En el caso de los niveles de habitación se ha recuperado una cantidad que ha oscilado entre los 20 y 50 litros de sedimento (Grau, 1992; Pérez *et al.,* 2003) por UE, mientras que de las estructuras de combustión hemos recogido la totalidad del sedimento contenido en las mismas. Un caso de excepción ha sido el gran vertedero documentado en la zona norte del yacimiento, del cual se han recuperado y procesado un total de 1000 litros de sedimento.

El tratamiento de las muestras se ha realizado mediante el sistema de flotación con máquina (Buxó, 1990), que ha permitido una eficaz recuperación de los restos tanto carpológicos como antracológicos contenidos en el sedimento. A pesar del esfuerzo de muestreo, sin embargo, algunas unidades estratigráficas han resultado estériles en macrorrestos vegetales.

Para llevar a cabo la identificación taxonómica se han estudiado anatómicamente los planos transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial de cada fragmento de carbón mediante la utilización de un microscopio metalográfico Leica DM 2500 M con óptica de campo claro/campo oscuro, y de 100 a 500 aumentos. Además, la identificación se ha apoyado en la consulta de una serie de atlas de anatomía de la madera (Schweingruber, 1978, 1990; Vernet *et al.,* 2001), y en las colecciones de referencia de madera actual carbonizada de los laboratorios de Arqueología de las universidades de Murcia y Valencia.

Las fotografías de los diferentes taxones identificados se han realizado mediante Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).

IV. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Se han analizado un total de 1.914 fragmentos de carbón, de los cuales 1.356 se hallaron en diferentes unidades estratigráficas asociadas a niveles de hábitat y al vertedero, que no hemos tratado como una unidad estructural ya que en este tipo de casos, tanto el proceso de formación del depósito como los resultados antracológicos son más asimilables al carbón disperso que al concentrado en estructuras de combustión (Bernabéu y Badal, 1990; Pernaud, 1992; García Martínez y Grau, en prensa). Los 558 fragmentos restantes se han cuantificado individualizadamente, ya que formaban parte del relleno de distintas estructuras de combustión, por lo que su interpretación admite matizaciones distintas. El estudio ha ofrecido una amplia variabilidad taxonómica, con un total de 32 taxones identificados.

Los resultados numéricos en valores absolutos y relativos se exponen en la Tabla 2.

TAXA	C. DISPERSO		ESTRUCTURAS DE COMBUSTIÓN							
	TOTAL		E.C. 314		E.C. 271		E.C. 178		BOCA DE HORNO	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Pinus halepensis	216	15,93			5	2				
Pinus sp.	23	1,7	1	0,4						
Bráctea de piña	1	0,07								
Juniperus sp.	135	9,95	4	1,6						
Coniferae	45	3,32			2	0,8				
Ephedra sp.	1	0,07	1	0,4						
Monocotyledoneae	57	4,2			3	1,2				
cf. *Arundo donax*	7	0,52								
Arbutus unedo	21	1,55			4	1,6				
Buxus sp.	8	0,59								
Cistaceae	5	0,37								
Cistus sp.	4	0,29			3	1,2				
Daphne gnidium	1	0,07								
Erica sp.	13	0,96							8	100
Fagus sylvatica	23	1,7								
Ficus carica	4	0,29								
Fraxinus sp.	154	11,36								
Labiatae	16	1,18			6	2,4				
Leguminosae	7	0,52								
Nerium oleander	1	0,07								
Olea europaea	171	12,61	141	56,4	13	5,2				
Pistacia lentiscus	226	16,67	77	30,8	201	80,4				
cf. *Pistacia terebinthus*	1	0,07								
Populus sp.	35	2,58								
Populus/Salix sp.	20	1,47	1	0,4						
Prunus sp.	3	0,22								
Prunus cf. *amygdalus*	1	0,07								
Punica granatum	22	1,62								
Quercus ilex/coccifera	19	1,4	1	0,4	3	1,2				
Rhamnus/Phillyrea sp.	7	0,52			2	0,8				
Rosaceae t. maloidea	13	0,96								
Rosmarinus officinalis	14	1,03			1	0,4				
Tamarix sp.	24	1,77	15	6	3	1,2	50	100		
cf. *Ulmus* sp.	1	0,07								
Indeterminado	3	0,22	1	0,4						
Indeterminable	54	3,98	8	3,2	4	1,6				
TOTAL	1356	100	250	100	250	100	50	100	8	100

Tabla 2. Cuantificación de los restos.

Rasgos paleoambientales

Tomando como referencia los resultados obtenidos a partir del carbón disperso podemos realizar algunas inferencias de tipo paleoambiental, referidas a la vegetación que se desarrollaría en esta zona de la Vega del Segura en el momento estudiado (siglo I d.C.). Para ello, hemos elaborado un histograma expresado en valores relativos (fig. 2), en el que se tratan cualitativa y cuantitativamente estos datos.

Desde una perspectiva cualitativa, podríamos decir que son tres grupos en los que se dividen los taxones identificados:

- Un primer grupo, representado en color verde, estaría compuesto por las especies propias de ambientes mediterráneos, que poblarían las zonas llanas y las elevaciones que rodeaban a las instalaciones del Balneario Romano.
- En segundo lugar, podríamos incluir aquellas especies que, siendo también parte del componente mediterráneo, pudieron ser cultivadas por los habitantes este lugar.
- Finalmente, el tercer grupo, en color azul, haría referencia a las especies que suelen formar parte de bosques riparios, que en este caso bordearían el río Segura.

Además de estas especies, el análisis antracológico ha permitido la identificación en las instalaciones excavadas de varios fragmentos de haya *(Fagus sylvatica),* cuya presencia en el ecosistema que rodeaba al Balneario Romano de Archena, sin embargo, es descartable por motivos ambientales, ya que esta especie vive bajo condiciones climáticas suaves y húmedas (900-1000 mm. anuales de precipitación en el caso de la Península Ibérica), sin sequía estival. El resto de los elementos del cortejo vegetal identificado, con taxones principalmente termófilos y xerófilos, y las condiciones climáticas que se derivan de algunos estudios paleoambientales referidos a cronologías contemporáneas (Pantaleón-Cano *et al.,* 2003; Grau, 1990; Fuentes *et al.,* 2005) en el sureste peninsular, están también en discordancia con el posible desarrollo natural de esta especie en la zona.

Teniendo en cuenta que todos los fragmentos han aparecido asociados al gran vertedero documentado en la zona norte del yacimiento, junto a multitud de clavos y fragmentos de herrajes y el hecho conocido de que esta madera fue muy utilizada desde la antigüedad, sobre todo en Italia, para la elaboración de muebles (vg. Marcial II, 43, 9-10 *Tu Libycos Indis suspendis dentibus orbis: fulcitur testa fagina mensa mihi),* es muy probable que los fragmentos analizados se correspondieran con algún objeto quemado y posteriormente desechado en este vertedero. No podemos concretar la procedencia de este objeto, proveniente del interior o traído por mar, pero si conocemos la vitalidad del balneario como centro receptor de gentes de lugares como Carthago Nova, *Consabura* (Consuegra), *Valentia* (González *et al.,* en prensa) y posiblemente *Olissipo* (Lisboa), *Nemausus* (Nimes) y Roma (González Fernández y Matilla Séiquer, 2003).

En el sureste peninsular sólo conocemos el caso similar, aunque mucho más tardío, del yacimiento medieval del Castell d´Ambra (Alicante), en donde se apunta también la presencia de algún objeto quemado, elaborado en haya (De Haro Pozo, 2002).

Cuantitativamente, la lectura del histograma sugiere que en el momento estudiado existía en este entorno un pinar de pino carrasco *(Pinus halepensis),* muy aclarado, en el que elementos arbustivos termófilos como el lentisco *(Pistacia lentiscus),* o el acebuche *(Olea europaea* var. *sylvestris),* serían predominantes, generando grandes y densas extensiones de matorral. Estas formaciones estarían acompañadas también de otros arbustos típicamente mediterráneos como enebros o sabinas *(Juniperus* sp.), espinos como *Rhamnus/Phillyrea* sp., y también brezos *(Erica* sp.), torviscos *(Daphne gnidium),* y gran cantidad de especies de la familia de las leguminosas, labiadas o cistáceas. Algunos xerófitos como *Ephedra* sp. crecerían en terrenos yesosos o de margas, abundantes en la zona, o también bajo condiciones de cierta nitrificación derivada de actividades agroganaderas.

La presencia de la encina/coscoja *(Quercus ilex/coccifera)* sería baja dado el porcentaje de 1,4% que presenta en nuestros resultados. No obstante, se ha podido registrar la existencia todavía de elementos hoy extintos o muy raros en este entorno, como el boj *(Buxus* sp.), el madroño *(Arbutus unedo)* o la cornicabra *(Pistacia terebinthus),* especies que pueden acompañar a formaciones de quercíneas, y que podrían haberse mantenido tras la degradación del encinar o carrascal, favorecidas probablemente por el aumento en las tasas de humedad propias del microclima ribereño.

Este grado de degradación del encinar en el territorio estudiado sería mucho mayor que el que se constata, por ejemplo, en la zona valenciana, en la que en el siglo I d.C. se presenta una dominancia todavía de formaciones de *Quercus perennifolio,* aunque éste es el momento de inflexión hacia una progresiva disminución del bosque, en función de un aumento de la garriga, con especies como el olivo, el pino carrasco o el lentisco, en progresivo ascenso (Grau, 1990).

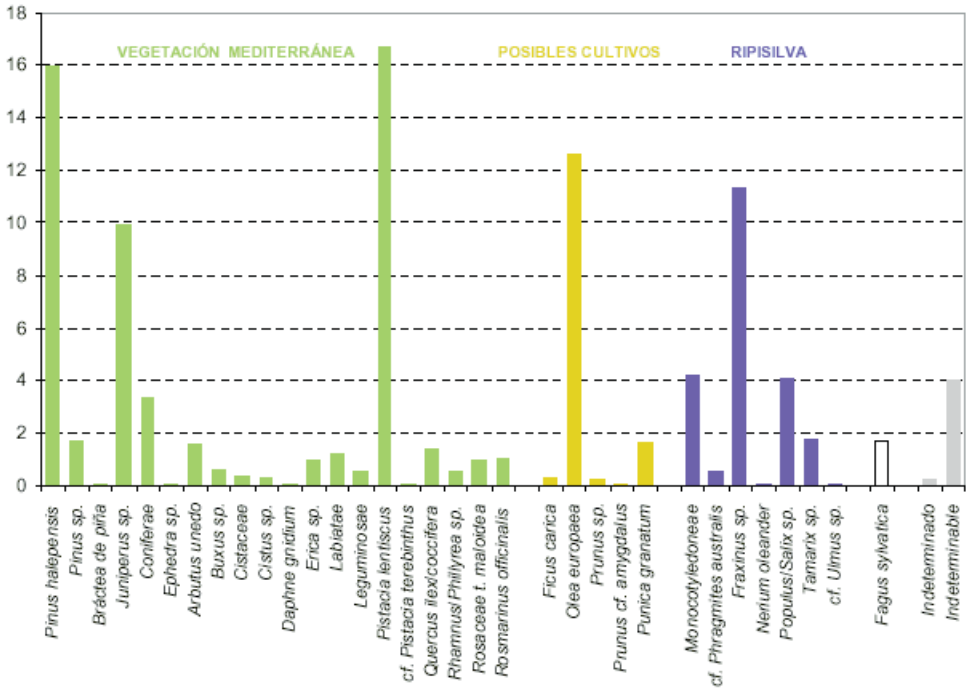


Figura 2. Histograma de porcentajes del carbón disperso.

Las condiciones climáticas, edáficas y de humedad favorecieron muy probablemente el desarrollo de cultivos en zonas adyacentes al río. En el caso que nos ocupa, *taxa* como *Ficus carica* (higuera), *Prunus* sp. (pruno), *Prunus* cf. *amygdalus* (almendro), *Punica granatum* (granado) u *Olea europaea* (olivo, acebuche) pudieron ser cultivados, aunque éste es un extremo que la antracología no nos permite confirmar, dada la gran similitud anatómica entre la madera de las variedades silvestre y domesticada. Entre todos estos taxones, la gran cantidad de restos carbonizados de olivo, así como la documentación en una de las estructuras del yacimiento de una zona de prensado cuya funcionalidad parece que pudo ser la de almazara, nos hacen pensar en la relevancia de la producción de derivados como el aceite. Las primeras estructuras de almazara se atestiguan en la Península Ibérica hacia el siglo III a.C. en los yacimientos valencianos del Castellet de Bernabé y La Seña (Pérez *et al.,* 1999). En época romana, sin embargo este tipo de estructuras son ya abundantes en el ámbito peninsular (González Blanco, 1993) y en otros puntos como la Provenza francesa (Leveau *et al.,* 1991).

Tenemos también constancia de que otros cultivos como los cereales y la vid estuvieron presentes en este lugar gracias a las primeras observaciones sobre los restos carpológicos recuperados mediante flotación, cuyo estudio está aún en un estadio inicial.

Por otra parte, los elementos de ripisilva, Monocotyledoneae (monocotiledónea), cf. *Phragmites australis* (carrizo), *Fraxinus* sp. (fresno), *Nerium oleander* (adelfa), *Populus/Salix* sp. (álamo, chopo/sauce), *Tamarix* sp. (taray) y cf. *Ulmus* sp. (olmo), estarían ligados al cauce del río Segura, conformando un bosque galería bien estructurado. La presencia mayoritaria del fresno, que supone un 11,36% del total identificado, y de otras especies más termófilas, o menos exigentes en humedad freática, pero típicas de riberas mediterráneas, como los álamos o los olmos respectivamente, parecen constatar que el grado de xericidad en esta zona sería bastante menor que el actual. La gran densidad de estas formaciones hidrófilas determinaría, como se ha comentado con anterioridad, una mayor humedad ambiental (Costa *et al.,* 2001), hecho que explica que taxones como *Tamarix* sp. o *Nerium oleander,* predominantes hoy en los ambientes ribereños de zonas áridas o semiáridas del sureste peninsular, tuvieran un papel más restringido a orillas del río Segura en el siglo I d.C.

En la última etapa de la secuencia polínica de Carril de Caldereros (Lorca, Murcia), localizada también adyacente al paso de un río (Guadalentín), se puede hablar hacia el siglo I. d.C. de una progresiva desaparición de los freatófitos, descendiendo de manera muy importante elementos como *Salix* o *Ulmus,* mientras que *Fraxinus* no se presentaría ya en este momento. La dominancia de elementos xerófilos y la fuerte disminución de la cubierta forestal son las notas dominantes en la zona polínica más reciente (C2) (Fuentes *et al.,* 2005).

Uso del combustible

El estudio individualizado del contenido carbonoso de las estructuras de combustión puede ofrecer ciertos datos relativos al empleo de los recursos leñosos disponibles por parte de los habitantes de un enclave.

En el caso que nos ocupa, se ha abordado el análisis de tres estructuras de combustión de carácter doméstico (EE.CC. 314, 271 y 178), además del contenido de la boca de un horno cuya funcionalidad fue la de abastecer de materiales constructivos a las instalaciones anexas al balneario.

Como es habitual en el caso de las estructuras de combustión, el cortejo identificado se caracteriza por presentar una variabilidad taxonómica muy inferior a la obtenida en los niveles dispersos, y grandes desequilibrios porcentuales en la representación de cada uno de los elementos. Así, el hogar 271 presenta 12 taxones, de entre los cuales *Olea europaea* supone el 56,4% del total; en la estructura de combustión 314 se identifican hasta 6 *taxa,* siendo el lentisco mayoritario con un 80,4% del registro; en las otras dos estructuras sólo se ha podido identificar un taxón en cada una de ellas (fig. 3). Esta circunstancia puede explicarse por el propio proceso de formación de este tipo de depósitos, que contendrían el combustible utilizado en las últimas igniciones realizadas dentro de las estructuras (Vernet, 1973). Tampoco se puede descartar que esta pobreza específica pueda evidenciar ciertos patrones de selección del combustible relacionados con la funcionalidad de las estructuras de combustión (Zapata, 1997), con las propiedades como combustible de determinadas especies vegetales (Marguerie, 2003), con usos poco prolongados de las estructuras (Hasler *et al.,* 2003; Pernaud, 1992), o con factores socio-culturales (Smart y Hoffman, 1988; Piqué, 1999).

En el caso estudiado, el hecho de que el taxón mayoritario sea distinto en cada una de las estructuras parece descartar que la funcionalidad de las mismas condicionara la selección de una madera específica, aunque es cierto que los pocos fragmentos recuperados en el horno, y la falta de elementos de comparación con respecto al papel del brezo *(Erica* sp.) en estructuras similares, limita nuestra interpretación en este sentido.

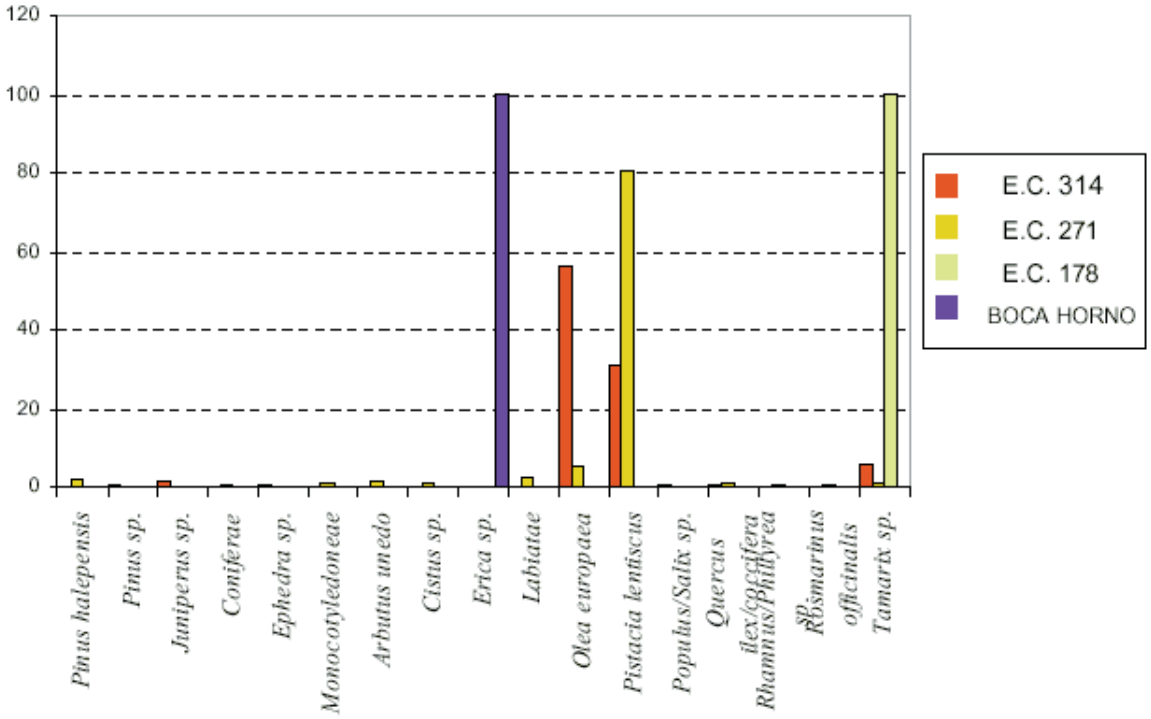


Figura 3. Histograma en valores relativos de las estructuras de combustión.

Por la misma causa, la diferencia taxonómica existente en las estructuras, es posible sugerir también que no existió una selección del combustible orientada hacia una especie en concreto, determinada por las propiedades físico-químicas de ésta. No obstante, el conocimiento de estas características por parte de los grupos humanos es un hecho constatado en la Prehistoria (Théry-Parisot, 2001), y a través del estudio de los modelos de recolección de leña de comunidades actuales (Zapata *et al.,* 2003).

Los hogares documentados en el yacimiento fueron alimentados sobre todo de *Olea europaea, Pistacia lentiscus, Tamarix* sp. y *Erica* sp. que, si bien poseen todas ellas una madera con buenas propiedades combustibles (López González, 2001), como la alta inflamabilidad y poder calorífico de algunas especies del género *Erica* (Elvira y Hernando, 1989), o la gran duración que proporciona el fuego del lentisco (López González, 2001), también son especies que, según nuestros resultados, serían de una gran abundancia en el entorno inmediato del establecimiento, por lo que no es posible hablar de la valoración o no de estas cualidades en el uso de las especies.

En definitiva, podemos decir que el aprovisionamiento de los recursos leñosos no estuvo sujeto a procesos de selección del combustible, sino condicionado por la disponibilidad y abundancia de las especies en el entorno.

VI. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Dra. Elena Grau la revisión del texto final de este artículo.

REFERENCIAS

BALLESTER, R. (coord.) 2003: *El componente vegetal de los humedales de la Región de Murcia: Catalogación, evaluación de la rareza y propuestas de medidas para su conservación.* Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Dirección General del Medio Natural. Murcia.

BERNABÉU, J. y BADAL, E. 1990: "Imagen de la vegetación y utilización económica del bosque en los asentamientos neolíticos de Jovades y Niuet (Alicante)". *Archivo de Prehistoria Levantina* XX: 143-166.

BUXÓ, R. 1990: *Metodología y técnicas para la recuperación de restos vegetales (en especial referencia a semillas y frutos) en yacimientos arqueológicos.* Cahier Noir 5. Ajuntament de Girona, Girona.

COSTA TENORIO, M.; MORLA JUARISTA, C. y SAINZ OLLERO, H. (eds.) 2001: *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica.* Ed. Planeta. Barcelona.

DE HARO POZO, S. 2002: "Charcoal analysis in the Castle of Ambra (Pego, Alicante, Spain)". En S. Thiébault (Ed.): *Charcoal Analysis. Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses. Proceedings of the Second International Meeting of Anthracology,* Paris, September 2000. B.A.R. International Series 1063. Oxford: 113-120.

ELVIRA, M. y HERNANDO, C. 1989: *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.

FUENTES, N.; GARCÍA MARTÍNEZ, M.S.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; FERNÁNDEZ, S.; CARRIÓN, J.S.; LÓPEZ-CAMPUZANO, M. y MEDINA, J. 2005: "Degradación ecológica y cambio cultural durante los últimos cuatro mil años en el sureste ibérico semiárido". *Anales de Biología* 27: 69-84.

GARCÍA MARTÍNEZ, M.S. y GRAU ALMERO, E. en prensa: "Aprovechamiento de los recursos leñosos en la fase protohistórica de Punta de los Gavilanes (Mazarrón, Murcia)". *Anales de Prehistoria y Arqueología* 21.

GONZÁLEZ BLANCO, A. 1993: "Pressoirs à huile d´époque romaine dans la Péninsule Ibérique". En M.C. Amouretti y J.P. Brun (eds.): *La production du vin et de l'huile en Méditerranée.* Bulletin de Correspondance Hellénique, supplément XXVI. París: 397-411.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, R. y MATILLA SÉIQUER, G. 2003: "Una inscripción votiva de los Baños Romanos de Archena". *Antigüedad y Cristianismo* XX: 559-566.

GONZÁLEZ, R., MATILLA, G. y MIRALLES, J. C. en prensa: "Latin epigraphy in Archena's termal baths, Murcia, Spain". *XIII International Congress of Greek and Latin Epigraphy,* Oxford, 2007.

GRAU, E. 1990: "Étude de la végétation et des relations homme-milieu à Valencia (Espagne) à l'époque romaine, d'après l´analyse anthracologique." *Pact 22* (IV.6): 271-280.

GRAU, E. 1992: "Méthodologie de prélèvements des charbons de bois dans les sites protohistoriques". *Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques* 139: 205-212.

HASLER, A.; FABRE, L.; CAROZZA, L. y THIEBAULT, S. 2003: "Les "foyers à pierres chauffées" de Château Blanc (Ventabren, Bouches-du-Rhône, France) et du Puech d´Auzet (Millau, Aveyron,France)". En M.Ch. Frère-Sautot (coord.): *Le feu domestique et ses structures au Néolitique et aux Âges des métaux. Actes du Colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 7-8 octobre 2000.* Montagnac: 37-50

LEVEAU, P.; HEINZ, C.; LAVAL, H.; MARINVAL, PH. y MEDUS, J. 1991: "Les origines de l'oléiculture en Gaule du Sud. Données historiques, archéologiques et botaniques". *Revue d'Archéometrie* 15: 83-94.

LÓPEZ GONZÁLEZ, G. 2001: *Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares (Especies silvestres y las principales cultivadas),* Tomos I y II. Ed. Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México.

MARGUERIE, D. 2003: "Le combustible des foyers domestiques du Néolithique et de l´Âge du fer dans le Nord-Ouest de la France". En M.Ch. Frère-Sautot (coord.): *Le feu domestique et ses structures au Néolitique et aux Âges des métaux. Actes du Colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 7-8 octobre 2000.* Montagnac: 199-208.

MATILLA SÉIQUER, G. 2006: "La recuperación de los Balnearios durante el Bajo Imperio". *Antiguedad y Cristianismo* XXIII: 159-184.

MATILLA SÉIQUER, G. 2007: "El balneario romano de Archena". En *Actas del 4º Congreso Internacional del Valle de Ricote.* Abarán: 217-230.

MATILLA SÉIQUER, G. en prensa: "La construcción de los balnearios durante el siglo I". *Al-Hamma* 1.

MATILLA SÉIQUER, G. y ADRADOS BUSTOS, R. en prensa: "Obras hidráulicas antiguas en Murcia, tipos y reiteraciones: la huella de *Carthago Nova* en el Balneario de Archena". En *II Congreso Etnográfico del Campo de Cartagena: Etnoarqueología del Agua. Revista Murciana de Antropología* 13.

PANTALEÓN-CANO, J.; YLL, E.I.; PÉREZ-OBIOL, R. y ROURE, J.M. 2003: "Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain)." *The Holocene* 13(1): 109-119.

PÉREZ JORDÁ, G.; IBORRA, P.; GRAU, E.; BONET, H. y MATA, C. 1999: "La explotación agraria del territorio en época ibérica: los casos de Edeta y Kevin". En R. Buxó y E. Pons (dir.): *Els productes alimentaris d´origen vegetal a l´edat del Ferro de l´Europa Occidental: de la producció al consum. Actes del XXII Col.loqui Internacional per a l´Estudi de l´Etat del Ferro.* Museu d'Arqueologia de Catalunya, Sèrie Monogràfica 18. Girona: 151-167.

PÉREZ JORDÁ, G.; GRAU ALMERO, E. y DUQUE, D. 2003: "La recuperación de materiales arqueobotánicos en contextos urbanos". En R. Buxó y R. Piqué (coords.): *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas. (Publicación del Primer encuentro del Grupo de Trabajo de Arqueobotánica de la Península Ibérica. Barcelona-Bellaterra, 2000).* Museu d'Arqueologia de Catalunya. Barcelona: 67-71.

PERNAUD, J.M. 1992: "L'interprétation paléoécologique des charbons concentrés dans les fosses-dépotoirs protohistoriques du Carrousel (Louvre, Paris)". *Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques* 139: 329-341.

PIQUÉ, R. 1999: *Producción y uso del combustible vegetal: una evaluación arqueológica.* Treballs d'Etnoarqueologia 3. UAB. CSIC. Barcelona.

RÍOS, S. y ALCARAZ, F.J. 1996: *Flora de las riberas y zonas húmedas de la Cuenca del Río Segura.* Universidad de Murcia. Murcia.

SÁNCHEZ GÓMEZ, P.; GUERRA MONTES, J.; COY, E.; HERNÁNDEZ, A. FERNÁNDEZ, S. y CARRILLO, A. 1998: *Flora de Murcia. Claves de identificación e iconografía de plantas vasculares.* Ed. Diego Marín. Murcia.

SCHWEINGRUBER, F.H. 1978: *Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois. Microscopic wood anatomy.* Birmensdorf. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research.

SCHWEINGRUBER, F.H. 1990: *Anatomie europäischer Hölzer ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer Anatomy of European woods an atlas for the identification of European trees shrubs and dwarf shrubs.* Stuttgart. Verlag Paul Haupt.

SMART, T.L. y HOFFMAN, E. 1988: "Environmental Interpretation of Archaeological Charcoal". En: C.A. Hastorf y V.S. Popper (eds.). *Current Paleoethnobotany: Analytical Methods and Cultural Interpretations of Archaeological Plant Remains.* The University of Chicago Press: 167-205.

THÉRY-PARISOT, I. 2001: *Économie des combustibles au Paléolithique.* Dossier de Documentation Archéologique 20. CNRS. Paris.

VERNET, J.L. 1973: "Étude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France a Quaternaire d'après les charbons de bois principalement." *Paléobiologie Continentale* IV (1). Montpellier: 1-90.

VERNET, J.L; OGEREAU, P.; FIGUEIRAL, I.; MACHADO, C. y UZQUIANO, P. 2001: G*uide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents. Sud-Ouest de l'Europe: France, Péninsule Ibérique et îles Canaries.* CNRS. Paris.

ZAPATA, L. 1997: "El uso del combustible en la ferrería medieval de Oiola IV: implicaciones ecológicas y etnobotánicas". *KOBIE (Serie Paleoantropología)* XXIV: 107-115.

ZAPATA, L.; PEÑA-CHOCARRO, L.; IBÁÑEZ ESTÉVEZ, J.J. y GONZÁLEZ URQUIJO, J.E. 2003: "Ethnoarchaeology in the Moroccan Jebala (Western Rif): wood and dung as fuel". En K. Neumann; A. Butler y S. Kahlheber (eds.): *Food, Fuel and Fields. Progress in African Archaeobotany. Africa Praehistorica* 15, Heinrich Barth Institut. Colonia: 163-175.

LA MADERA Y LAS FIBRAS VEGETALES EN LA VIDA COTIDIANA MEDIEVAL. EL EJEMPLO DE LA HABITACIÓN 34 DE L'ESQUERDA (MASIES DE RODA - RODA DE TER, BARCELONA)

THE WOOD AND THE VEGETAL FIBRES IN THE MEDIAEVAL LIFE. THE EXAMPLE OF ROOM 34 OF L'ESQUERDA (MASIES DE RODA-RODA DE TER, BARCELONA)

CARMEN CUBERO CORPAS[1], IMMA OLLICH I CASTANYER[2]

(1) Fundació Privada l'Esquerda, Bac de Roda, 6, 08510 Roda de Ter, m.a.esquerda@rodadeter.cat
(2) Facultat Geografia i Història. Universitat de Barcelona. Montalegre, 6. 08001 Barcelona

RESUMEN

Presentamos el análisis de los vestigios antracológicos de la habitación 34 de l'Esquerda. Esta estructura, situada en el poblado medieval, fue destruida por incendio durante la segunda mitad del siglo XIII. En su interior hemos recuperado madera carbonizada proveniente de lanzas, elementos muebles, vigas, cubierta o techo, estora aislante y zonas dispersas. Su determinación e interpretación ha dado luz sobre el aprovechamiento de los recursos forestales, el uso específico de unas maderas y de unas fibras de acuerdo con sus cualidades mecánicas, e indirectamente, la composición del bosque circundante de la zona y asimismo sobre comercio de materias vegetales.

ABSTRACT

The analyses of anthracological remains from the room 34 of l'Esquerda is presented. This structure, placed in the mediaeval village, was destroyed by fire during the second half of the 13th century. From the inside we have retrieved carbonized woods coming from lances, furniture, beams, roof or ceiling, insulating mat and disperse zones. Its determination and interpretation has brought information about exploitation of forest resources, use of some specific vegetal fibres in accordance with their mechanical properties, and indirectly, about the composition of the nearby forest of the zone, and trade of vegetal matter.

Palabras clave: Cataluña, siglo XIII, antracología, arqueología medieval, recursos forestales, construcción, artesanía.

Key words: *Catalonia, 13th.c, anthracology, medieval archaeology, forest resources, construction, craftsmanship.*

I. INTRODUCCIÓN

El estudio arqueológico que desde hace treinta años se lleva a cabo en el poblado medieval de l'Esquerda comporta, entre otros aspectos, la comprensión paisajística del entorno del yacimiento[1]. En esta presentación exponemos el estudio antracológico de materiales de la habitación 34: una estructura de 5,30 x 5,50 m de lado que conforma un espacio interior útil de unos 29 m^2. Como la mayoría de las construcciones de l'Esquerda, se trata de un espacio construido con zócalo piedra y pared de tapia y cubierto a una sola pendiente con vigas y tejas. La pequeñez del espacio queda compensada por el uso de un altillo habitable situado por la parte más alta del tejado. El suelo es la roca viva. La puerta se abre hacia el norte delante de una calle pequeña. La estancia está situada en medio del poblado medieval y fue destruida por incendio durante la segunda mitad del siglo XIII (figura 1).

Figura 1. Vista del área medieval de l'Esquerda.

Tres son los niveles arqueológicos documentados: el superficial, el de derrumbe y el de ocupación. El nivel de ocupación mostraba un estrato de tierra quemada con restos de las vigas y del entramado de la cubierta, tejas tipo *imbrex,* cerámica de cocción reductora y vidriada, algún fragmento de vidrio, monedas y lanzas, además de restos vegetales entre los que destaca una estera (figura 2).

El análisis de los restos carbonizados y el estudio de dispersión de los materiales han permitido rehacer casi totalmente el contenido de este lugar en el momento de su destrucción. Así, en la esquina NE de la cámara se localizaba un hogar sobre la roca con bastantes restos de cerámica gris fragmentada en su entorno (ollas y cazuelas para cocinar y jarras para líquidos). El análisis del contenido de cenizas de una de las ollas indica que en ella estaban cociendo habas (Tresserres Juan, inédito). Apoyadas en la pared, cerca de la esquina SE de la cámara había dos lanzas de hierro, además de puntas de ballesta y algunas piezas de hierro que pueden corresponder a ballesta.

1. Este estudio ha sido posible gracias al proyecto de la DGICYT PB 94-0842: Arqueología experimental. Estructuras de almacenamiento agrícola y construcción en la Edad Media que se desarrolla en el yacimiento arqueológico de l'Esquerda (Masies de Roda - Roda de Ter).

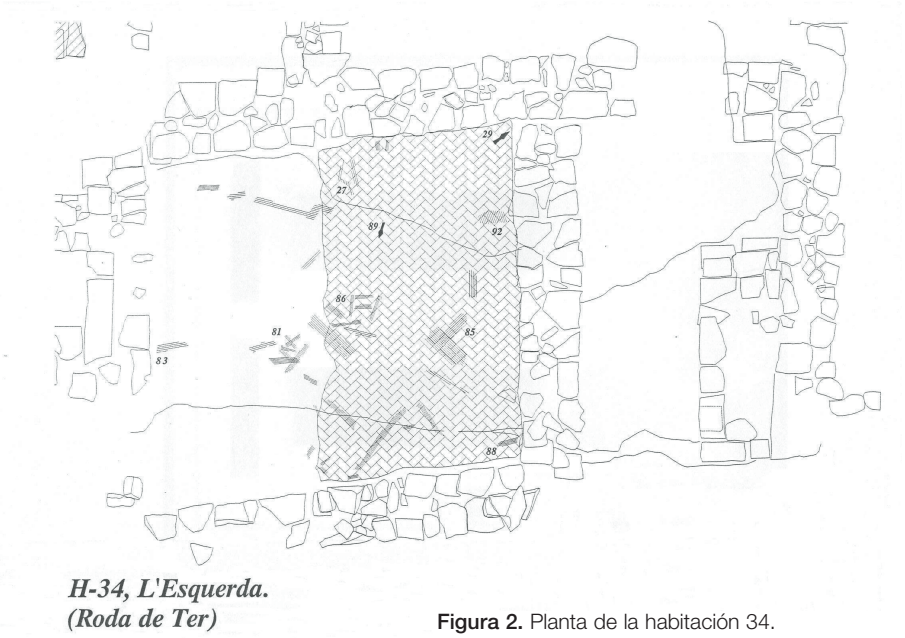


Figura 2. Planta de la habitación 34.

Cubriendo la mitad sur de la estancia aparecieron unos restos carbonizados sobre el suelo de piedra formando una especie de estera trenzada que aislaba de la humedad de la roca del suelo. Por encima de esta estera y en medio del nivel de incendio se pudieron localizar restos de mobiliario: una llave y una cerradura de arqueta y restos de tablones de madera, tal vez de una mesa baja, restos de vidrio, una botellita, algunas plaquetas de bronce que pueden formar parte del vestuario o de uso personal. Todo ello nos indica un uso doméstico como zona de trabajo y de descanso (Ollich y de Rocafiguera, 2001).

II. METODOLOGÍA

El estudio antracológico comportó una estrategia de muestreo adaptada a las particularidades de la estructura, y un submuestreo a nivel cuantitativo. Por muestreo puntual hemos recuperado maderas carbonizadas provenientes de objetos (mango de lanza, cerradura de un mueble) y por muestreo extensivo restos de vigas, estera y elementos muebles. El número mínimo de fragmentos visualizado por muestra ha estado supeditado a la cantidad de carbones presentes y al tamaño de los mismos. En el caso que una muestra constituyese una unidad hemos realizado un submuestreo representativo de 10 fragmentos en varias partes para verificar que todos ellos perteneciesen a una única especie.

Para muestras de sedimento superiores a un litro de volumen —extraído de las unidades estratigráficas fértiles— hemos procedido a la medición precisa en ml. y al cribado con agua en columna de tamices de 10, 5, 2 y 0,5 mm luz de malla de la tierra.

Una vez separados los fragmentos de madera carbonizados del resto de los componentes hemos procedido a su identificación analizando las secciones transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial, siguiendo los parámetros de la claves dicotómicas, la consulta de atlas especializados (Cambini, 1976 a y b; Giordano, 1981; Nardi Berti, 1979; Schweingruber, 1990) y de la colección de referencia[2]. También hemos prestado atención a indicios de desgaste, diámetro de ramas o troncos, señales de elaboración, restos de corteza, marcas de uso, grado de degradación por hongos o insectos, etc.

2. La infrastructura microscópica ha estado proporcionada por los Musei Civivi di Como (Laboratorio di Archeobiologia) en Como, por el Museu d'Arqueologia de Catalunya (laboratorio físico-químico) en Barcelona y por el laboratorio de Optica del Departamento de Cristalografia de la Facultad de Geologia de la Universitat de Barcelona. Queremos agradecer a todos ellos estas facilidades.

III. RESULTADOS

Las muestras analizadas han sido 26, correspondientes a 2 unidades estratigráficas diferentes, el número de fragmentos visualizado asciende a 600 y los taxones determinados han sido 13. La determinación se ha conseguido en diferentes grados de precisión (especie, género, grupo de especies o familias).

Hay una fuerte presencia de ramas y ramitas (en 17 de las 26 muestra analizadas aparecen). El diámetro de las ramitas va de 7 a 50 mm. Los fragmentos informes tienen un bajo desgaste. La incidencia de criptógamas o insectos xilófagos es muy baja. Hay fragmentos con partículas incrustadas en la superficie exterior, hecho normal debido al contacto con el sedimento, y también hay concreciones que llegan al interior y dificultan la precisión en la determinación.

En la UE 38053, una muestra extensa recogida a lo largo de toda la superficie de ocupación del recinto, se recupera mayoritariamente boj y nogal; en el ángulo SE aparece *Prunus* de tipo difuso *(Prunus lusitanica* o *Prunus laurocerasus)* junto con los reiterados nogal y boj. La coordenada 27 ha proporcionado nogal, *Quercus* sp. roble, laburno, boj y fresno (figuras 3 y 4).

	GENERAL	SE	C. 27	C. 29	C. 89	L 10-M 10	TOTAL
Buxus sempervirens	28	4	16	5	1		54
Laburnum anagyroides/alpinus			3		16		19
Juglans regia	2	4	2			4	12
Quercus sec. ROBUR			3			3	6
Prunus tipo *avium/cerasus*						3	3
Quercus sp.			1			1	2
Fraxinus excelsior			1				1
Pomoideae				1			1
Prunus tipo difuso		1					1
Indeterminado				1			1
TOTAL	30	9	29	7	17	11	103

Figura 3. Determinaciones realizadas en la UE 38053.

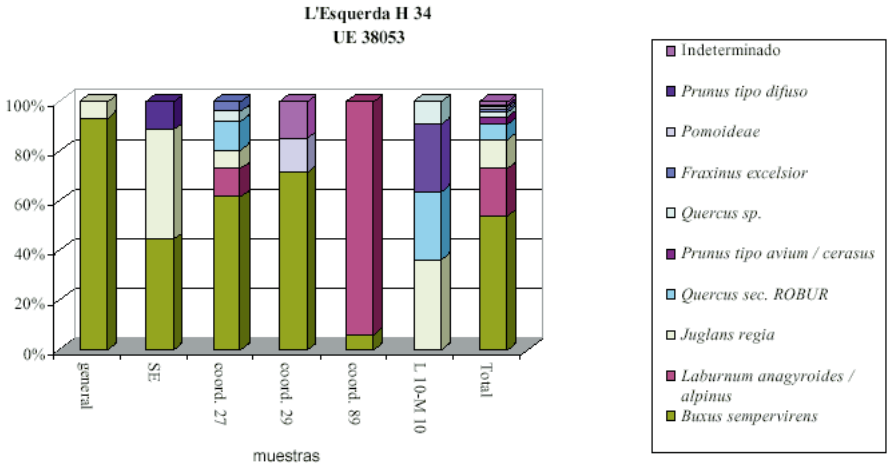


Figura 4. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la muestra UE 38053.

La UE 39061 es la unidad estratigráfica que cuenta con más muestras. Algunas de ellas corresponden a ubicaciones de un cuadro, otras a coordenadas dentro de un cuadro preciso. La coordenada 86 tiene boj como único componente; en el cuadro L8 coordenada 87 aparece nogal y haya. En los cuadros L 9-L 10 se recupera roble, *Pomoideae* y boj. En el cuadro L 10, coordenada 88 se documenta boj y *Prunus* sp (melocotonero, albaricoquero, cerezo, ciruelo). También en el cuadro M 12 coordenada 83 aparece boj (figuras 5 y 6).

Comparando los resultados de la muestra UE 38053 cuadros L 10-M 10 y la muestra UE 38061 cuadros L 10-M 10 observamos diferencias en los resultados: en la primera hay nogal y roble y *Prunus* tipo *avium/cerasus,* mientras que en la segunda determinamos boj y chopo. Esta última muestra está en consonancia con las otras de la misma unidad estratigráfica.

		L9 / L10 / M8 / N 8-N 9/							N10 /					
	ESTERA	L10	M10	M9	O8-O8	N10	M11	M12	O10	c. 86	L8	L10	c.89	c.90	TOTAL
Palmaceae	350														350
Buxus sempervirens	13	27	21	16	4	30	18	2		30		3		1	164
Quercus sec. ROBUR		2												40	42
Populus sp.			4	12			1								17
Salix sp.							9								9
Juglans regia					1				1		3				5
Prunus sp.									2			1			3
Fagus sylvatica											2				2
Quercus sp.														1	1
Pomoideae		1													1
Fraxinus excelsior													1		1
corteza				2										2	4
TOTAL	363	30	25	30	5	30	28	2	3	30	5	4	1	44	600

Figura 5. Determinaciones realizadas en la UE 38061.

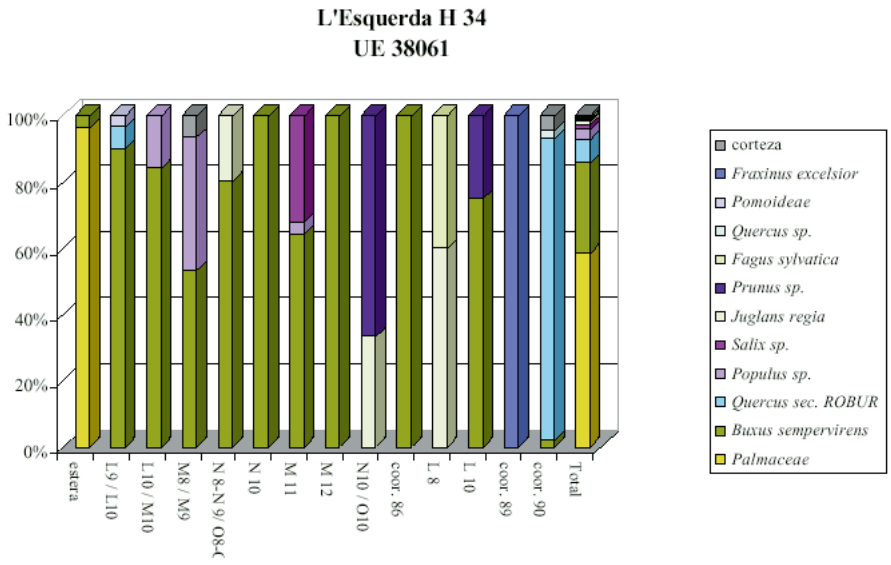


Figura 6. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la muestra UE 38061.

Las siguientes referencias son posibles restos de la cubierta: UE 38061 cuadros M 8-M 9, cuadros L 10-M 10, M 11, coordenadas 76, 78, 79, 80, 81, cuadro M 12 coordenada 82, cuadro N 8-N 9 / O 8- O 9, cuadro N 10 y cuadros N 10-O 10 coordenada 84. La madera mayoritariamente recuperada es la de boj. También se constata nogal, chopo, sauce y *Prunus.*

La mitad de la superficie de la habitación 34 estaba cubierta por una estera formada por fibras de hojas de palma trenzadas o tejidas (figura 7). La estera se veía erosionada y deshilachada por la combustión u otros efectos post-deposicionales. Hemos podido llegar a la determinación de la familia, pero no al nivel de especie de palma. La alfombra sería una capa plana, grande como para albergar el cuerpo de una o dos personas adultas. Puntualizamos que la muestra estaba compuesta por un 99% de restos de *Palmaceae.* El boj representa una pequeña proporción en la muestra, seguramente caída por el derrumbe del piso superior.

Por la ubicación de los restos de recuperados, alguna madera u objeto realizado en chopo estaba situado en los cuadros M 8-M 9 y M 10 y madera de sauce en el cuadro M 11 de la UE 38061. La coordenada 89 (interior de la lanza 2) de esta unidad estratigráfica es la muestra aportada por la restauradora después de la limpieza y consolidación de la lanza metálica. El material utilizado para la larga empuñadura es fresno. La muestra UE 38061 coordenada 90, z: 178 (arca pequeña) está compuesta mayoritariamente por *Quercus* sec. ROBUR *(Quercus petrae, Quercus robur, Quercus humilis)* (Cambini, 1976 a y b) es decir, de roble. Así, hay una grande posibilidad que la pequeña arca fuera de roble. También está presente el boj.

Figura 7. Detalle de la estera de palma.

IV. INTERPRETACIÓN

Los tipos de maderas recuperadas, en estado fresco, tienen ciertas cualidades que nos pueden ayudar a comprender mejor su utilidad en el yacimiento (Bergós, 1951; Sanchez Sanz, 1984). Hasta hace pocas décadas de las hojas de las palmeras se hacían diversos trabajos tejidos: esteras, bolsas, cuerdas, sombreros, serones, moldes de quesos, esportones… De las hojas de *Palmaceae,* especialmente

Chamaerops humilis L (palmito) se hacen objetos de cestería y escobas. Las ramas verdes cortadas y despojadas de los folíolos se secan a la intemperie. Una vez secas se pueden hacen las empleitas (trenzado fino de varios tallos en número impar de tres a once ramas). A partir de las empleitas se elaboran trabajos finos. Con las hojas retorcidas se hace una especie de cuerda denominada tomisa. Las esteras son piezas planas, normalmente cuadradas o rectangulares, que protegen el pavimento, se pueden usar como lecho en el suelo y a manera de alfombra.

El boj tiene una madera adecuada para tornería y escultura, se usa en artesanía, grabados, pequeños muebles, figuras de ajedrez. Pero el boj tiene un crecimiento lento y no es muy rentable a nivel de producción forestal. No descartamos la posibilidad de un aprovechamiento selectivo de esta madera o ramas con hojas para finalidad constructiva, como un entramadazo de ramas similar a los encañizados de los techos, de ahí su abundancia en forma de ramas y ramitas por toda la superficie de la estancia (Figura 8).

La madera de roble *(Quercus* sec. ROBUR) es de elaboración fácil, además dura muchos años, tiene buen aspecto y se sierra bien cuando está fresca. Contiene taninos que en contacto con minerales como el hierro forma manchas negro-azuladas en la superficie. Si el árbol ha crecido vigorosamente, tiene anillos anuales amplios y la porción de madera de otoño da una madera dura y pesada apropiada para la construcción de casas o incluso naval. En cambio, si la madera de primavera tiene los anillos de crecimiento pequeños, la madera puede ser más tierna y ligera y más apropiada para elaborar muebles de interior, vigas o tableros. Se usan también como leña y carbón.

Las maderas del género *Salix* son ligeras, de poca densidad y poco valoradas en carpintería, además con el inconveniente que fácilmente son atacadas por insectos (Fenaroli, 1984). Las ramas flexibles se aprovechan para trabajos de cestería y entramados varios.

Las maderas de *Populus* se manipulan y trabajan sin dificultad, pero duran poco. No tienen un uso especifico en carpintería a excepción de destinarlas a zuecos —como también el sauce—, o cerillas, embalajes de cajas de fruta y secundariamente como leña.

ÁRBOL/ARBUSTO	CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA	USOS ACTUALES	USOS EN L'ESQUERDA
Palmaceae	flexible y poco duradera	estoras, cestería, escobas	aislante
Boj	muy densa, pesada, crecimiento lento	artesanía, grabado, tallas	construcción
Roble	densidad alta, larga duración	construcción, muebles, vigas	construcción, vigas, muebles
Sauce/álamo	ligera, poco densa	tablas, zuecos	tablas o objetos domésticos?
Laburno	poco valor	soporte de viña, tornería, leña	leña
Noguera	densidad media, muy duradera	muebles, tornería, combustible	posiblemente mueble
Prunus	semidura y elástica en general	muebles, ebanistería	muebles
Pomoideae	depende de cada especie	carpintería, combustible	leña
Fresno	semidifusa, resistente, elástica	aperos agrícolas, obj. deportivos	enmangue de lanzas
Haya	fácil de trabajar	muebles, construcción	posiblemente mueble

Figura 8. Características y usos de las maderas determinadas.

La madera de *Laburnum anagyroides* Med (laburno) tampoco es especialmente valorada, como máximo se usa en pequeñas piezas torneadas o como soporte para viñas. Una cualidad destacada es su elevado poder calorífico, apreciable a la hora de iniciar un fuego.

El nogal es de gran valor por sus características físicas (madera duradera, de densidad media a dura), mecánicas (trabajo fácil, resistente) y estéticas (susceptible de un buen acabado y pulido). Por todo ello es seleccionado para la elaboración de muebles de calidad, pavimentos, tallas y tornería y como excelente carbón.

De acuerdo con el origen de las muestras y los restos analizados hemos realizado la interpretación de usos que se muestra en la figura 8.

De entre los fragmentos recuperados hemos observado una serie de ellos que parecen presentar trazas de elaboración. *Prunus,* boj, nogal y haya presentan evidencias de elaboración y formas que no responden a una fractura natural, sino mas bien a redondeamientos y cortes intencionados, seguramente relacionados con objetos de mobiliario o estructuras concretas.

Un fragmento de *Prunus* tipo difuso de la UE 28053 parece cortado en ángulo recto como formando parte de una tabla. En la UE 38061 N 10-O 10 un resto de *Prunus* presenta una forma similar a la descrita anteriormente. En la UE 38053 coordinada 89 hemos localizado un fragmento de boj tallado por cuatro caras que semeja una pieza para encajar en otra. Otro fragmento también de boj de la UE 38061 L 9-L 10 presenta tres cortes rectos y una cara redondeada, que difícilmente podría ser debida a una fractura natural.

Un fragmento de nogal de la UE 38053 L 10-N 10 presenta una fractura recta por los cuatro lados; dos fragmentos más de la misma especie tienen dos caras rectas de manera aparentemente intencionada.

Remarcamos que estos restos de nogal que presentan indicios de elaboración podrían corresponder a una sola entidad. Aventuramos la posible ubicación de un mueble de nogal, por el área de dispersión de los carbones en L 9-M 9-N 9 y L 10-M 10-N 10 de la UE 38053.

El haya de UE 38061 L 8 coordenada 87 tiene forma cuadrada con los ángulos redondeados, similar a las patas de las sillas y mesitas actuales.

El paisaje vegetal en el que se enmarcaría l'Esquerda en la segunda mitad del siglo XIII concuerda con la vegetación climácica de la zona, tanto de la montaña media como de las orillas del río Ter. Es decir, nos hallamos ante el robledal seco de *Quercus pubescentis-petraeae (Buxo-Quercenion)* y el bosque de ribera de *Populetalia albae* (Folch i Guillem, 1986). El robledal seco submediterráneo se instala en la zona por efectos de la inversión térmica. En caso de no darse ésta, la formación climácica seria el encinar. El robledal es una comunidad vegetal de transito entre la vegetación mediterránea y la vegetación medio-europea. Es un bosque alto y denso dominado en el estrato arbóreo por *Quercus pubescents. Salix salviifolia, Salix cinerea* subsp *oleifolia, Salix purpurea* o saulic, *Salix fragilis* L son frecuentes en bosques de galería del piso montano y zonas mediterráneas. La asociación *Populetalia albae* cuenta entre sus componentes con *Populus nigra* o *Populus alba* que forman los bosques de ribera del piso montano de la mayor parte del país.

Además de por la madera, hay especies que pueden ser muy preciadas por su fruto. Nos referimos al nogal, cultivado y naturalizado tanto en el piso mediterráneo como en el montano, *Pomoideae,* que comprende árboles frutales cultivados o *Prunus,* que puede estar representado por especies cultivadas como *Prunus* dulcis, *Prunus persica, Prunus armenica, Prunus avium* o *Prunus domestica.*

Un caso de especial interés es la presencia de palma. La palma que se puede hallar de manera natural en la franja litoral de Cataluña es el palmito *(Chamaerops humilis),* que vive en máquias, zonas espinosas

y lugares rocosos de las zona mediterránea seca marítima. No pensamos en la palmera dactilífera *(Phoenix dactylifera)* o en la palmera de Canarias *(Phoenix canariensis)* ambas introducidas. El hallazgo de la estera de palma en el yacimiento comporta un transporte de la materia prima desde lugares relativamente distantes donde la planta crece o un comercio del material ya elaborado en forma de estera. Pensamos que la ausencia del vegetal de manera natural en la zona incide también en el posible desconocimiento de las técnicas de su manipulación y trenzado. Por ello consideramos factible que fuera la estera la comprada en vez de únicamente la materia vegetal como materia prima, y que comerciantes itinerantes mercadeaban con estos productos.

V. CONCLUSIONES

A nivel de habitación, podemos hacer las valoraciones que siguen. Hay una abrumadora abundancia de palma, que es usada como aislante en el suelo de la estancia y proporciona un cierto confort (figura 9).

Cuantitativamente le sigue el boj presente en forma de ramas y relacionado con estructuras de construcción como paredes y techos. En la construcción de la casa también se usaron vigas de roble. El mango de las lanzas es de fresno. Seguramente las maderas manufacturadas de *Prunus,* nogal y haya corresponden a objetos de mobiliario. Consideramos que hay una elección consciente de las maderas según sus cualidades para unos usos determinados.

En líneas generales, la madera arqueológica muestran concordancia con la vegetación climácica de la zona, tanto de la montaña media como de la ribera del río, respectivamente el robledal seco de *Quercus pubescentis-petraeae (Buxo-Quercenion)* y la asociación *Populetalia albae.* Hay presencia de especies cultivadas como nogal y algunos *Prunus.*

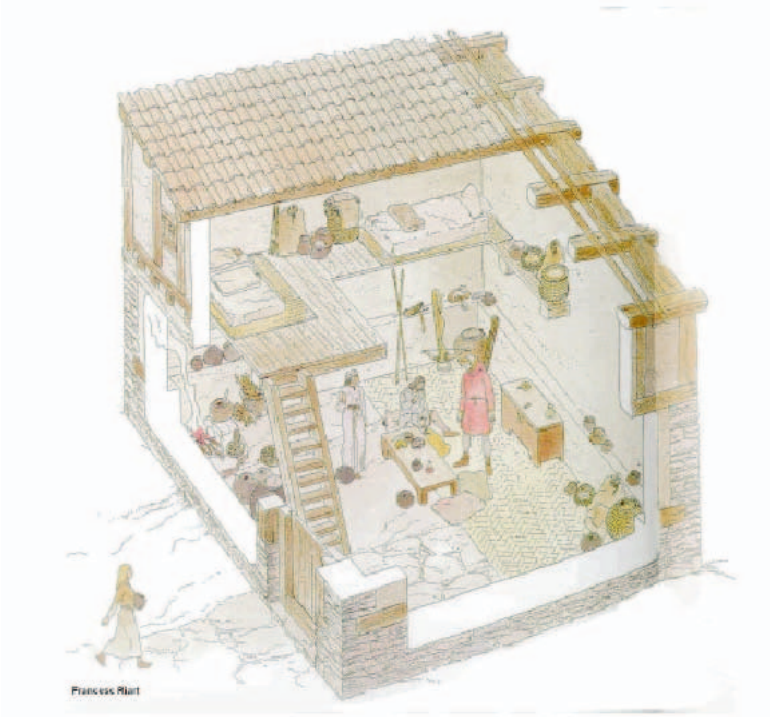


Figura 9. Reconstrucción de la habitación 34.

Un caso de especial interés es la presencia de palma. Su hallazgo comporta un transporte desde la costa mediterránea sea como materia prima no elaborada o ya tejida o trenzada. Indirectamente nos hace pensar en un comercio a media o larga distancia.

La abundancia de boj presente en forma de ramas y ramitas, parece estar relacionada con paredes, techo y estrucuras de combustión. La madera de fresno está usada para el enmangue de la lanza. Seguramente las maderas manufacturadas de *Prunus,* nogal y haya estarían en relación con objetos de mobiliario. La fibras de palma son la materia con la que se elaboró la estera. En todo ello vemos una selección consciente del material vegetal para unos usos determinados, en concordancia con su cualidades.

Si bien el boj se puede recuperar por toda el área de la habitación, la estera de palma ocupa una superficie delimitada por unos ocho metros cuadrados, la madera de nogal se localiza en los cuadros L 9- M 9 –N 9 y L 10- M 10 –N 10 y la de chopo aparece en los cuadros M 8 –M 9 y M 10; por último, el sauce se ubica en el cuadro M 11.

Además de la madera, algunos árboles y arbustos recuperados pueden proporcionar otros productos de interés para la comunidad humana: los frutos de nogal, haya, *Prunus* y *Pomoidea,* la leña o el carbón de roble o haya, o facilitar el encendido de los hogares como el laburno.

BIBLIOGRAFÍA

CAMBINI, A. 1967a: *Micrografia comparata dei legni del genere Quercus.* Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto Nazionale del Legno. Roma.

CAMBINI, A. 1967b: *Riconoscimento microscopico del legno delle querce italiane.* Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto Nazionale del Legno. Roma.

BERGOS, J. 1951: *Maderas de construcción, decoración y artesanía.* Gustavo Gili. Barcelona.

FENAROLI, L. 1984: *Guida agli alberi d' Italia* Ed. Giunti Martello. Firenze.

FOLCH i GUILLEN, R. 1986: *La vegetació dels Països Catalans.* Ed Ketres. Barcelona.

GIORDIANO, G. 1981: *Tecnologia del legno vol. I. La materia prima.* Ed. U.T.E.T. Torino.

NARDI BERTI, P. 1979: *La strutura anatomica del legno ed il riconoscimento del legnami italiani di più corrente impiego.* Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto Nazionale del Legno. Firenze

OLLICH, I.; de ROCAFIGUERA, M 2001: *L' Esquerda 2500 anys d' història 25 any de recerca.* Fundació privada l'Esquerda. Roda de Ter.

SANCHEZ SANZ, M.E.1984: *Maderas tradicionales españolas.* Editora nacional. Madrid.

SCHWEINGRUBER, F.H. 1990: *Mikroscopische Holzanatomie. Anatomie microscopicque du bois. Microscopical Word anatomy. Structural variability of ítem and twigs in recent and subfossil woods from Central Europe.* Swiss Fed. Inst. For. Res., Birmensdorf. Edition Zürcher. Zug.

TRESSERES JUAN, J. (inédito): *Estudio del contenido de los recipientes cerámicos de la habitación 34 de l' Esquerda. Les masies de Roda de Ter- Roda de Ter.*

ARQUEOMETRÍA DE LOS TEJIDOS COPTOS: LAS COLECCIONES ESPAÑOLAS

ARCHAEOMETRY OF COPTIC TEXTILES: THE SPANISH COLLECTIONS

ANA CABRERA[1], LAURA RODRÍGUEZ[2], ENRIQUE PARRA[3], PILAR BORREGO[4], LUIS TURELL[5]

(1) Museo Nacional de Artes Decorativas (Madrid)
(2) Departamento de Arte Medieval, Universidad Complutense (Madrid)
(3) Facultad de Química, Universidad Alfonso X el Sabio (Madrid)
(4) Departamento de Tejidos, IPHE (Madrid)
(5) Museo de Montserrat (Barcelona)

RESUMEN

Se presentan los planteamientos y primeros resultados del proyecto de investigación "Caracterización tecnológica y cronológica de las producciones textiles coptas: antecedentes de las manufacturas textiles altomedievales españolas", financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. Dicho proyecto desarrolla una metodología de estudio en donde las ciencias experimentales (análisis de colorantes por HPLC y TLC, estudios de fibras mediante SEM y análisis de C-14) y las humanidades (estudio de la técnica textil, restauración de tejidos, estudio de las decoraciones textiles e historia de las producciones textiles coptas) aúnan esfuerzos para conocer en profundidad y caracterizar este rico patrimonio cultural. Este tipo de proyecto, desarrollado de manera paralela por otras instituciones europeas en sus respectivas colecciones, pretende sentar las bases para una nueva seriación cronológica de las producciones textiles coptas y comprender los cambios tecnológicos e iconográficos, así como los sistemas de comercialización de las materias primas involucradas a lo largo del amplio periodo que cubre: siglos IV al XII AD. Se abordan los problemas que surgen a la hora investigar este tipo de producciones: dudas de adscripción, problemas con las antiguas restauraciones, pastiches, con ejemplos estudiados de las colecciones custodiadas en Museos españoles.

ABSTRACT

The layout and first results of the research project "Technological and chronological characterization of the Coptic textile productions: antecedents of the high-medieval Spanish textile manufactures", financed by the Spanish Ministerio de Educación y Ciencia, are presented. Said project develops a methodology of study where the experimental sciences (HPLC and TLC analysis of dyes and C-14 tests) and humanities (study of the textile technique, restoration of fabrics, study of cloth decoration and history of the Coptic textile productions) join efforts to understand thoroughly and characterize this rich cultural heritage. This kind of project, developed in a parallel way by other European institutions in their respective collections, pretends to set up the foundations of a new chronology for the Coptic textile productions and to understand the technological and iconographic changes, as well as the systems of commercialization of the related raw materials in the wide period of time covered: 4th to 12th c. The problems found when researching this kind of productions are approached: adscription doubts, problems with old restorations, pastiches… with examples from the collections kept in Spanish museums.

Palabras clave: Antigüedad Tardía, Edad Media, Museos, Fibras, Tintes, HPLC, TLC.

Key words: *Late Antiquity, Middle Ages, Museums, Fibers, Dyes, HPLC, TLC.*

INTRODUCCIÓN

La investigación y estudio de los objetos o piezas en museos o colecciones públicas han sido un campo de interés tanto para científicos como historiadores; la colaboración entre ambos ha permitido abrir poco a poco nuevas perspectivas gracias a las técnicas de análisis y a la interpretación de los resultados obtenidos. Buena prueba de ello son los tejidos históricos y arqueológicos, donde diferentes técnicas de análisis permiten identificar colorantes mordientes o fibras textiles, describir técnicas textiles, determinar la composición en el caso de hilos metálicos o atribuir una cronología. Disponer de todos o algunos de estos datos permite investigar los tejidos desde distintas ópticas como la producción y circulación de materias primas, el desarrollo de nuevas técnicas textiles o nueva tecnología de fabricación, además de poder establecer un marco cronológico más adecuado.

El estudio de los tejidos coptos se remonta al mismo momento en que empiezan a ingresar en los distintos museos y colecciones de Europa y América, a finales del siglo XIX. Estos tejidos, encontrados en distintas necrópolis de Egipto, sorprendieron y, todavía sorprenden, por su buen estado de conservación debido a las condiciones de sequedad del país y han sido objeto de distintos estudios desde 1900 hasta nuestros días. Estas manufacturas textiles han sido estudiadas principalmente en función de su decoración, prestándose menor atención a las materias primas o a la técnica textil empleada, estableciéndose una cronología basada en los motivos decorativos, su evolución (del naturalismo al esquematismo) y los estilos decorativos.

Durante mucho tiempo se ha identificado como tejidos coptos aquellos encontrados en Egipto y cuyo marco cronológico clásico estaría entre el siglo II/III y el siglo VIII/IX, hasta la extensión del Islam en Egipto. Ahora bien, en los últimos años se tiende a usar para referirse a estas manufacturas términos como tejidos egipcios o del valle del Nilo de época romana, bizantina e islámica, evitando el adjetivo copto, por su imprecisión y por las connotaciones de tipo religioso (Van't Hoof *et al.,* 1990: 140).

La abundancia de estas producciones textiles se pone en relación, además de por las condiciones medioambientales de la zona, con el cambio de ritual funerario que supone el vestir a los muertos, generado por la extensión del cristianismo. Este cambio se documenta a partir del siglo III d.C. (Pritchard, 2005: 49). Los tejidos encontrados anteriores a esta etapa son menores en número, pero destacan los hallazgos en la zona del Mar Muerto (Granger Taylor, 2000: 151-154) y en las fortificaciones romanas entre el Mar Rojo y el río Nilo (Cardon, 2001: 13-14; Benger JØrgensen, 2004: 99; Schrenk (ed.), 2006).

El desarrollo de las técnicas de análisis desde los años 70 del siglo pasado ha hecho que las investigaciones sobre tejidos, y particularmente los tejidos coptos, hayan protagonizado un gran desarrollo. Las razones de este renovado interés se deben a diversos factores que pueden resumirse de la siguiente manera:

- Se trata de tejidos descontextualizados y con escasa documentación.
- Han sido objeto de escaso estudio (con las conocidas excepciones).
- Muchos de ellos todavía están inéditos.
- Pertenecen a un momento, la Antigüedad Tardía, que está siendo objeto de un mayor estudio e interés por parte de la arqueología y de la investigación histórica.

El caso de los tejidos coptos en las colecciones españolas es buen ejemplo de esta situación. Así, excepto una colección en la que conocemos su procedencia (Turell, 2004), las demás se formaron por procesos de adquisición en el mercado del arte. Además, excepto una tesis doctoral (Rodríguez Peinado, 1993) centrada en los ejemplares del Museo Arqueológico Nacional y el Museo Nacional de Artes Decorativas y dos catálogos sistemáticos de exposiciones en Tarrasa (1991) y Museo de la Alhambra en Granada

(1997), las demás colecciones han permanecido prácticamente inéditas hasta los inicios del siglo XXI. Todas estas circunstancias nos llevaron a iniciar un plan de investigación que hasta la fecha ha contado con subvenciones de la Comunidad de Madrid (CAM 06/0036/2003d) y del Ministerio de Educación y Ciencia (I+D+I, MEC, HUM2005-04610). Las líneas de trabajo seguidas se enmarcan dentro de las líneas desarrolladas a nivel europeo *(Study Group of the Textiles from the Nile Valley up to 1000, Purpurae Vestes, Dyes in History and Archaeology, etc.).*

En este trabajo presentamos un resumen de los principales resultados obtenidos hasta la fecha en la identificación de fibras y tintes de tejidos coptos en colecciones españolas.

FIBRAS TEXTILES

En Egipto el empleo del lino era casi exclusivo hasta la llegada de los griegos. La introducción de la lana por su mayor facilidad en teñirse provocará el comienzo de una floreciente industria de tejidos en lino con decoración en lana (Fig. 1). También está documentado, ya sea por fuentes escritas o por materiales arqueológicos, otras fibras textiles como el algodón, conocido en las fuentes como "la lana de árbol" que ya en época meroítica (entre el siglo I a.C. hasta el siglo IV d.C.) se cultiva en Qasr Ibrim (Wild y Wild, 2008: 3-6) y que en época romana se cultiva en el oasis de Kharga (Bruwier, 1997: 51; Wild *et al.,* 2008: 145-149), o las fibras de palma, caballo y camello, estas últimas usadas más para tejidos fuertes (lonas) o cuerdas y maromas.

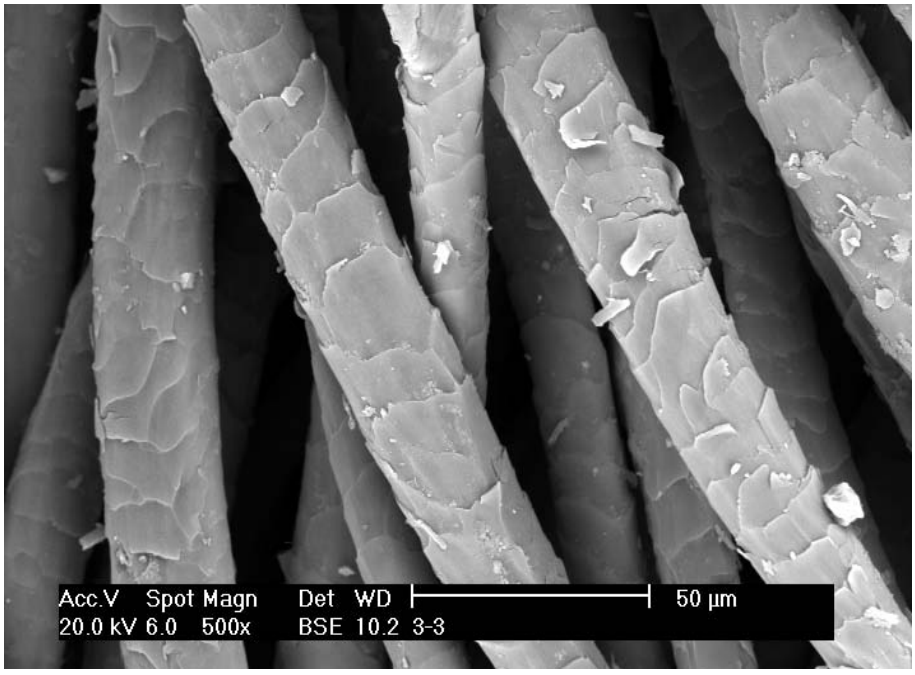


Figura 1. Fibras de lana.

El estudio de fibras puede permitir clasificar algunos tejidos sobre los que se tienen dudas de adscripción. En nuestro caso destacan dos piezas del Museo Nacional de Artes Decorativas cuyas fibras de trama y urdimbre han sido analizadas por SEM (13988 y 13989).

En la primera pieza se determinó que se trataba de fibras de algodón (Fig. 2), algo muy poco corriente en las tejidos coptos. En el segundo caso se identificó la lana de la trama, realizándose un corte transversal para tratar de precisar el tipo de lana, siendo el resultado lana de camélido. Ambas piezas en realidad per-

tenecen a manufacturas peruanas de época virreinal. Las razones de su anterior clasificación errónea se deben, entre otras, a que la técnica textil empleada, la tapicería, es la misma que la de los tejidos coptos, junto a ciertas similitudes formales en los motivos decorativos.

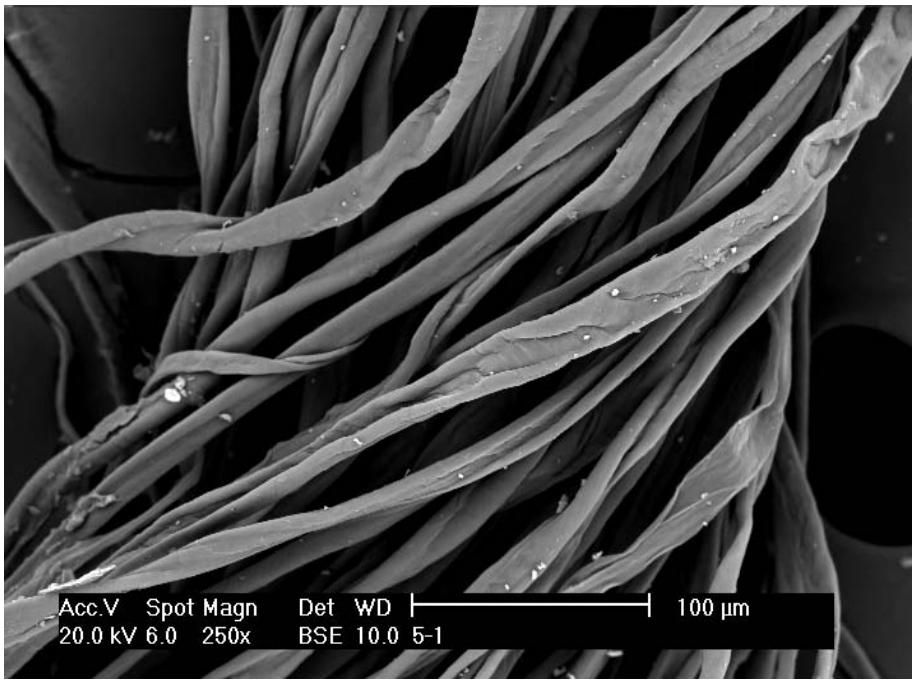


Figura 2. Fibras de algodón procedentes del tejido MNAD 13899.

ANÁLISIS DE TINTES

El análisis sistemático de los colorantes que se encuentran en los tejidos antiguos de distintas épocas y culturas es una de las vías de investigación que ha tenido un mayor desarrollo en los últimos años, valga como ejemplo los más de 1.290 análisis recogidos en el artículo de A. Verhecken (Verhecken, 2007: 206-213) de tejidos de Egipto, Siria e Israel. Este tipo de estudio implica la colaboración entre historiadores, bioquímicos y químicos especialistas en los métodos de análisis. Fruto de esta colaboración son los análisis que presentamos en este trabajo y que han sido realizados en 2 laboratorios distintos (IPHE y Universidad Alfonso X el Sabio).

En el campo de los tintes, los estudios han permitido determinar tres maneras distintas para la obtención del color:

- Color obtenido de un solo tinte o colorante.
- Color obtenido por la mezcla de dos tintes o colorantes.
- Color obtenido por la torsión simultánea de fibras de dos colores distintos creando el efecto visual de otro color (Fig. 3).

La última técnica, identificada inicialmente en una pieza del British Museum (Cardon, 2003: 15, fig. 5), se ha documentado en varios de los tejidos estudiados por nosotros y en combinaciones de color distintas. Así, además del morado, obtenido de la mezcla de fibras azules y rojas, se consigue el color verde mediante la mezcla de fibras azules y amarillas y el color naranja mezclando fibras amarillas y rojas (Rodríguez Peinado y Cabrera, 2007).

Figura 3. Hilo con fibras de dos colores torsionadas a la vez para crear el efecto de otro color.

El análisis empleado en la identificación de colorantes orgánicos ha sido la cromatografía en distintas variantes: cromatografía de capa fina (CCF o TLC) y la cromatografía de alta precisión (HPLC). La toma de muestra se hace siempre diferenciando los hilos de trama y urdimbre, además de un mapa de la localización de las muestras.

La HPLC permite diferenciar con gran precisión entre colorantes o tintes muy próximos químicamente, como las púrpuras obtenidas de distintos moluscos o los rojos extraídos de insectos de diferentes especies (kermés, cochinilla armenia, cochinilla americana, etc.). También permite distinguir los diferentes componentes de los tintes obtenidos en varios baños, como son las llamadas "púrpuras de imitación" o "púrpuras vegetales"[1] muy comunes entre los tejidos coptos (vid. Tabla 1 y 2).

El análisis MEB se llevó a cabo en un microscopio electrónico Phillips XL-100 dotado de analizador por EDX. Las muestras se fotografían y se analizan en busca de los elementos más importantes.

Para los colorantes amarillos y rojos (Tabla 1) se usó cromatografía líquida de alta presión (HPLC). Para los colorantes azules (Tabla 1) se usó cromatografía en capa fina (CCF). Para ambas técnicas, la muestra se extrae con una mezcla de metanol: agua: HCl 35% 1:1:2 en volumen, añadiendo a una fibra de 0'5 cm un volumen total de 200 µL. Se calienta durante 5 min. a 60ºC, se deja enfriar y se evapora la muestra a vacío. Se le añaden 100 µL de una mezcla metanol: agua 1:1 para HPLC o de un volumen igual de metanol puro para CCF, se centrifuga y se analiza la muestra. Para CCF la mezcla eluyente es cloroformo y las placas son de aluminio, con gel de sílice e indicador de fluorescencia. Las placas se revelaron con 2-aminoetildifenilborato y se observaron a 254 nm.

Para HPLC, las muestras se corrieron en una mezcla de (A) agua, (B) metanol y (C) agua. El programa de elución es 60A/30B/10C 3 minutos, gradiente lineal hasta 10A/80B/10C, 26 minutos, flujo 1 mL/min. La temperatura se estabilizó a 27ºC. La detección se llevó a cabo a 255 nm. Se usó un cromatógrafo Konik y una columna Lichrosorb LC-18 de 4 x 125 mm.

1. Agradezco a Julia Martínez, de la Universidad de Valencia, sus comentarios sobre los tintes vegetales, especialmente el uso de la denominación de "púrpuras vegetales" a la mezcla de colorantes que permiten obtener el color púrpura.

PIEZA	COLOR	COMPUESTOS DETECTADOS HPLC	ELEMENTOS	FIBRA	COLORANTE	MORDIENTE
MNCV 1.712	Rojo	purpurina, alizarina	Si, S, Al, Ca (Na, Mg, Cl, K, Cr, Fe, Cu)	lana	Granza	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	Verde	indigotina	Si, Al, S, Ca (Na, Mg, Cl, K, Ba, Ti, Fe)	lana	Indigofera	Alumbre, sulfato ferroso
	Amarillo		Si, S, Al, Ca (Na, Mg, Cl, K, Fe, Cu)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.708	Ocre	luteolina?	(Si, Al, K, Na, Mg, Cl, K, Fe)	lino o cáñamo	Gualda (tr.) ¿?	*Alumbre, sulfato ferroso
	Gris oscuro	indigotina, indirubina	S, Si, Al (Na, Mg, Cl, K, Fe, Cu)	lana	Isatis	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.706	Ocre	luteolina?	Si, Ca, Al (Na, Mg, Cl, K, Ti, Fe, Cu)	lino o cáñamo	Gualda (tr.) ¿?	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	Amarillo	-	(Si, Ca, Na, Mg, Al, Cl, K, Fe, Cu)	lino o cáñamo	-	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.711	Blanco amarillento	luteolina?	Cl, Ca, Na (Mg, Al, Si, K, Fe)	lino o cáñamo	Gualda (tr.) ¿?	*Alumbre, sulfato ferroso
	Blanco	-	Cl, Ca, Na (Mg, Al, Si, K, Fe, Cu)	lino o cáñamo	-	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.715	Verde	indigotina, indirubina	S, Ca, Cl, Si, Al, Na (Mg, Fe)	lana	Isatis	Alumbre, sulfato ferroso
	Amarillento	-	S, Na, Cl, Si, Ca, Al, Mg (Fe, Cu)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.713	Amarillento	-	S, Si, Ca, Mg, Al (Na, Fe, Cu)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNCV 1.714	Ocre	-	Si, Na, Al, Cl (Mg, K, Ca, Fe, Cu)	lino o cáñamo	-	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfatocúprico
MNAD 13.955	Ocre	luteolina?	Si, Al, Ca (Na, Mg, Al, Cl, Fe, Cu)	lino o cáñamo	Gualda (tr.) ¿?	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MNAD 13.899	Blanco	-	(Si, Ca, Cl, Fe, Cu)	algodón	-	*Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MMM 6	Paja (1)	luteolina, apigenina	n. a. **	lana	gualda	
	Paja (2)	luteolina, apigenina	n. a.	lana	gualda	
	verde	-	Mg, Al, Si, P, S, Ca, Fe, Cu (K)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	azul	indigotina	n. a.	lino	índigo (tr.)	
	rojo	-	Mg, Al, Si, P, S, Ca, Fe, Cu (K)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MMM 3	rojo	purpurina, alizarina	Al, Si, S, Cl, Ca, Cu (Mg, P, K, Fe	lana	granza	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	paja		n. a.	lino o cáñamo	gualda	
	paja		n. a.	lino o cáñamo	gualda	
MMM 8	paja marrón	purpurina, alizarina	Al, Si, S, Ca, Fe, (Mg, P, Cl, K)	lino o cáñamo	granza (tr.)	Alumbre, sulfato ferroso
	paja	-	Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu (P)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MMM 37	amarillo	luteolina, apigenina	Al, Si, P, S, Cl, Ca (Mg, K, Fe)	lana	gualda	Alumbre, sulfato ferroso
	rojo	-	Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu (Mg)	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	verde	-	Al, Si, P, S, K, Ca, Fe, Cu (Mg, Cl)	lino	-	Alumbre, sulfato ferroso

* La ausencia de S puede deberse a procesos de lavado en la restauración, o incluso a la degradación biológica por parte de bacterias.
** n. a.: no analizado

Tabla 1. Muestras analizadas en la Universidad Alfonso X El Sabio[2].

2. Técnicas utilizadas: Microscopía óptica sobre dispersiones de fibras observadas con luz transmitida. HLPC y microanálisis EDX sobre los hilos para la aproximación al mordiente. Análisis realizados por Dr. Enrique Parra, profesor de Químicas de la Universidad Alfonso X el Sabio y miembro del proyecto de investigación.

PIEZA	COLOR	COMPUESTOS DETECTADOS HPLC	ELEMENTOS	FIBRA	COLORANTE	MORDIENTE
MMM 17	rojo	purpurina, alizarina	Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ba, Fe, Cu	lana	granza	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	paja	-	Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu	lana	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
	azul oscuro	-	Al, Si, S, Cl, Ca (Mg, P, K, Fe, Cu)	lino	-	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MMM 2	paja	luteolina, apigenina	Na, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cu (Mg)	lana	gualda	Alumbre, sulfato cúprico
	verde	luteolina, apigenina	n. a.	ana	gualda	
	rojo	purpurina, alizarina	n. a.	lana	granza	
MMM 7	rojo	purpurina, alizarina	Al, Si, P, S, Ca, Fe, Cu (Mg, Cl, K)	lana	granza	Alumbre, sulfato ferroso, sulfato cúprico
MMM 1	paja	luteolina, apigenina	n. a.	lana	gualda	
MMM 5	paja	luteolina, apigenina	n. a.	lana	gualda	

Tabla 1. Muestras analizadas… (continuación).

Los resultados de los análisis de tintes (Tablas 1 y 2) se resumen en la obtención de básicamente tres colores: rojo, amarillo y azul. Los tintes o colorantes empleados mayoritariamente son la granza para el rojo, la gualda para el amarillo y la índigotina para el azul que puede proceder tanto del índigo como del añil o pastel). Además pueden mencionarse los taninos como fuente para los colores como el marrón o negro.

Existe un número muy elevado de colorantes amarillos y azules que no han podido ser analizados por razones distintas en las muestras analizadas en la Tabla 1. Los amarillos porque no poseen muestra suficiente. Los azules, porque no han podido ser extraídos, en particular los procedentes del Museo del Monasterio de Montserrat. En este caso, la causa puede ser que han recibido algún tratamiento o apresto especial que hace que los colorantes no pasen a disolución, condición indispensable para su análisis.

En cuanto a los mordientes (vid. Tabla 1), parece que están mordentados todos los hilos, los teñidos y los no teñidos. El mordiente es una mezcla compleja de sales minerales en la que normalmente se combinan proporciones variables de alumbre, sulfato ferroso y sulfato cúprico. En algunas ocasiones alguno de ellos está ausente, excepto el alumbre que es denominador común de todas las mezclas.

La presencia de otros elementos, diferentes de Al, S, Fe y Cu se ha ignorado para la interpretación de los datos del mordiente. Si, K, Ca y Cl proceden del polvo, y las condiciones de enterramiento, humedades, lavados, etc. El P y el Ca además, del contacto con huesos si son piezas mortuorias. Por otro lado, Ba, Ti, Pb, e incluso Cr proceden del contacto de las piezas con pinturas que contienen pigmentos con estos elementos.

Estos datos además permiten realizar una comparación con las fuentes escritas de esta época. Así, se puede confirmar la extensión de la receta de la “falsa púrpura” o “púrpura vegetal” (mezcla de tintes azules y rojos) tal y como se recoge en el Papiro de Leiden (Cardon, 2003: 31) o la falta de resultados y la escasa incidencia de la púrpura verdadera, que de momento no ha sido encontrada en ningún tejido en España, y sólo ha sido encontrada en dos tejidos coptos a nivel europeo (Hofmann-de Keijzer *et al.,* 2007: 228).

PIEZA	COLOR	TIPO DE HILO	TINTES OBTENIDOS	OBSERVACIONES
MAN 15045	"púrpura" de marrón, rojo, azul y negro	Lana, trama	Granza, índigo y probable liquen*	Tintura no uniforme en todo el filamento
MAN 15046	Rojo anaranjando	Lana, trama	Granza	Granza
	Rojo anaranjado claro	Lana, trama		
MAN 15049	Verde claro	Lana, trama	Gualda e índigo	Se realizo test Indigotina**
	Verde oliva	Lana, trama	Gualda e índigo	Se realizo test Indigotina
	Azul oscuro, negro	Lana, trama	Índigo	Se realizo test Indigotina
	Amarillo	Lana, trama	Gualda	
	Rojo	Lana, trama	Laca	Análisis de TLC y HPLC***
MAN 15055	Púrpura	Lana, trama	Granza e índigo	Mezcla de filamentos púrpura y azul oscuro
MAN (semicírculo grande)	Púrpura	Lana, trama	Granza e índigo	Mezcla de filamentos púrpura y azul oscuro
	Marrón		No detectado	Cogido del reverso
	Rojo	Lana?	Granza e índigo	Hilo de costura
MAN 15068	Púrpura	Lana, trama	Granza e índigo	Mezcla de filamentos anaranjados y azules
MAN 15072	Naranja	Lana, trama	Gualda y granza	Proporción mayor de colorante amarillo que de rojo
	Verde claro	Lana, trama	Índigo	No se detecta colorante amarillo, se realizó test Indigotina
	Verde oscuro	Lana, trama	Gualda e índigo	Filamentos verdes y azules, se realizó test de Indigotina
	Azul claro	Lana, trama	Índigo	Se realizó test de Indigotina
	Azul oscuro	Lana, trama	Índigo	
	Amarillo	Lana, trama	Gualda	
	Rosa	Lana, trama	Granza	
MAN 15073	Rojo anaranjado	Lana, trama	Granza	
	Rojo anaranjado	Lana	Granza	Hilo de costura
MAN 15080	Púrpura	Lana, trama	Granza e índigo	Se realizó test de Indigotina
MAN 1992/39/3****	Naranja	Lana, trama	Granza	Filamento de color naranja oscuro y más claro en menor proporción
	Naranja	Lana, trama, flecos	Granza y gualda	Más claro que el anterior
	Púrpura	Lana, trama, flecos	Granza e índigo	Mezcla de filamentos rojos, púrpura e índigo
	Púrpura	Lana, trama	Granza e índigo	Igual al anterior pero con menor proporción de azules, se realizó test de Indigotina
MAN 1992/39/5 Muestras tomadas del reverso	Azul verdoso	Lana, trama	Índigo y gualda	
	Azul	Lana, trama	Índigo	
	Rojo	Lana, trama	Granza	
	Verde claro	Lana, trama	Índigo	Muestra insuficiente para TLC, se realizó test de Indigotina
	Púrpura	Lana, trama	Índigo y granza	Mezcla de filamentos azules, rojos y púrpura en menos proporción
	Púrpura	Lana, trama	Índigo	Mezcla similar a anterior, los rojos están más decolorados.

* El índigo se identificó hidrolizando la muestra. La presencia de liquen no pudo llegar a comprobarse dada la escasez de muestra, hace sospechar la presencia de éste la decoloración de la fibra y la mancha tenue y rosada en el inicio de la placa de TLC.

** El test de Indigotina, es el análisis o test microquímico propuesto por J. Hofenck de Graaff (Hofenck de Graaff, 2004; p. 247) para detectar la presencia de Indigotina, dado positivo en todas las muestras.

*** Análisis de Cromatografía de alta presión (HPLC) realizados por Estrella Sanz.

**** Análisis mediante HPTLC. El colorante azul necesitó una segunda hidrólisis para extraerlo y poder identificarlo.

Tabla 2. Muestras de tejidos del Man analizadas en el IPHE[3].

3. Análisis realizados por Ángela Arteaga. Laboratorio de Materiales. Departamento Científico de Conservación, Instituto de Patrimonio Histórico Español (IPHE). Condiciones de TLC: Hidrólisis: HC1 6N. Disolución del residuo en MeOH. Placa: gel de sílice 60 F (10x10). Eluyente: Tolueno: formado de étilo: Ácido fórmico (50:40:10). Detección: pulverización con 2-aminoetildifenil borinato al 1% en MEOH y posterior observación bajo radiación UV a 366nm.

Otro dato interesante ha sido el hallazgo en dos piezas (Fig. 4) del colorante o tinte gualda (color amarillo) en los hilos del tejido de base en lino (Tabla 1). Estos hilos de lino, que a primera vista parecían no tener color, tras su examen al microscopio se observaron atisbos de tintado, por lo que se decidió su análisis mediante HPLC. El resultado positivo obtenido de colorante o tinte gualda es importante, ya que se asumía que el lino no se teñía en esta época, debido a las dificultades para teñirlo. Esta explicación también se razonaba por la utilización de la lana, más fácil de teñir, para las decoraciones.

Figura 4. Tejido realizado con una trama suplementaria, para hacer el efecto de "pelo" (MNCV 529).

Las dos piezas en las que se ha identificado el tintado del lino son de gran tamaño (más de 170 centímetros de alto) por lo que se supone serían tejidos de amueblamiento: cortinas, manteles o colchas. Por tanto, el hecho de estar la base teñida de amarillo produciría un mayor efecto haciendo resaltar mucho más la decoración.

Otro aspecto a destacar es que los tintes pueden ser un elemento de datación relativa, ya que algunos tintes aparecen o dejan de usarse en determinadas épocas. Este es el caso del cártamo (Verhecken, 2007: 210) que no se encuentra, de momento, con posterioridad al siglo VI d.C. En el caso del tinte laca, identificado en uno de los tejidos del MAN (Tabla 2), si aceptamos los comentarios de Pfister (1935: 84) recogidos también por Verhecken (2007), parece que no se utilizó en Egipto hasta la llegada de los musulmanes, es decir mediados del siglo VII d.C. Por tanto, la pieza del MAN en la que ha sido detectado tendría que ser posterior a esa fecha.

TÉCNICA TEXTIL

El estudio de la técnica textil de los tejidos coptos es de especial relevancia ya que procede de una de las culturas textiles más antiguas, la egipcia, de la que se conservan ejemplares de manera casi inte-

rrumpida desde el Predinástico (Donadoni Riveri, 2001: 16) hasta nuestros días, con especial relevancia en las etapas finales del Imperio Romano y Bizantino y las dinastías musulmanas, a partir de mediados del siglo VII d.C.

Además contamos con una riquísima documentación tanto escrita (en papiros) como gráfica[4], en la que se describen los distintos procesos de la industria textil, desde la recolección del lino, su hilado hasta los distintos tipos de telares.

A la hora de estudiar la técnica textil, se empieza con la descripción del tipo de hilo (si es de un cabo, de dos, etc.) y la torsión de cada cabo (en Z ó S). El tipo de torsión es un dato que explica entre otras cosas, la tradición textil del lugar. En Egipto la torsión que se emplea en los hilos de lino es en "S". La explicación es sencilla, ya que la fibra de lino cuando está húmeda tiende a torsionarse de manera natural en "S". Esta misma torsión se emplea en Egipto en los hilos de lana.

Conviene recordar que en las zonas limítrofes con Egipto, como Oriente Próximo o Grecia la torsión habitual es en "Z", ya que sus tejidos son habitualmente en lana. Esta misma tradición, de torsión en "Z", ocurre en Europa.

La torsión mayoritaria de los hilos de los tejidos hasta ahora estudiados es en "S" excepto en dos casos, que corresponden a los tejidos peruanos de época virreinal comentados anteriormente. En el caso de los tejidos egipcios entre los siglos III al X es interesante destacar que la torsión en "Z" aparece sólo en los tejidos en seda (De Moor *et al.,* 2006) o en tejidos con decoraciones similares a los empleados en tejidos persas o sasánidas. La posible explicación a este hecho podría ser que se tratara de tejidos exportados de Persia, o que la lana procedería de Oriente. En el caso de los tejidos en seda es obvio, ya que en Egipto no se cultiva la seda por factores climáticos.

Los ligamentos (manera en que se cruzan los hilos de la urdimbre con los de la trama) empleados en los tejidos estudiados se reducen a dos: el tafetán y el *taqueté* [5]. El primero se trata de un ligamento básico conocido desde la Prehistoria. El segundo es un ligamento más complejo que emplea dos juegos (o hilos) de urdimbre: uno para ligar el tejido de base y el segundo para la decoración.

Otra característica de estos tejidos es el empleo de tramas suplementarias de lino para crear un efecto de pelo, que se consigue entresacando las tramas suplementarias, creando literalmente "pelos" en el tejido. Este tipo de tejido puede tener el pelo sólo en una cara o en las dos y está considerado un tejido más cálido por lo que se empleaba en colchas, cojines o túnicas (Cortopassi y Verhecken-Lammens, 2007: 139-149). En las colecciones españolas encontramos varios ejemplos de este tipo de tejidos en el Museo Textil de Tarrasa, en el Museo Nacional de Cerámica de Valencia y en el Museo Textil de Barcelona. Otra técnica copta es la conocida como de bucle, en ella unas tramas suplementarias de lana, son sacadas con unos pinchos especiales creando pequeños "bucles" de lana. Los tejidos en los que empleaba son mayoritariamente de amueblamiento (Fig. 4).

La riqueza decorativa de estos tejidos se consigue gracias al empleo de tramas de decoración ligadas en técnica de tapicería, así como al empleo de una pequeña lanzadera, conocida como lanzadera volante, para realizar los detalles de la decoración (Fig. 5).

4. Destacan los frescos de Beni Hassan, entre otros.

5. *Vocabulario técnico de tejidos,* 1964, publicado por el CIETA (Centre International d'Éude des Tissus Anciens).

a)

b)

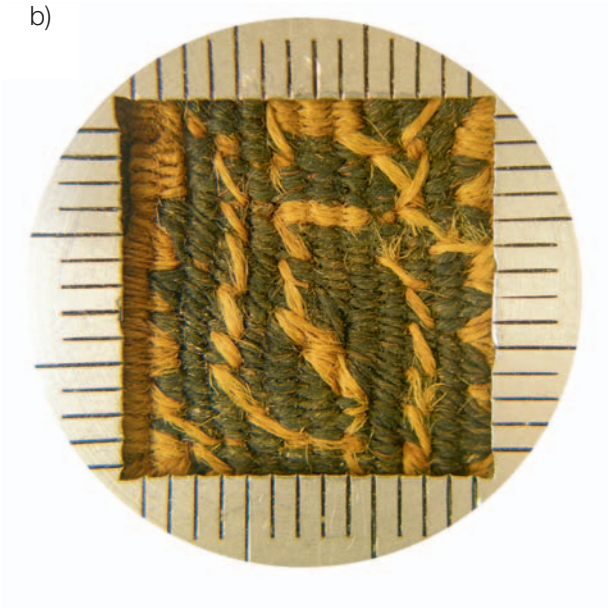


Figura 5a. Tejido en lana con los detalles de los motivos decorativos realizados con la lanzadera volante (Figura 5b).

COMENTARIOS FINALES

Las primeras conclusiones que podemos sacar a la vista de estos resultados es la necesidad de equipos multidisciplinares para el estudio de los tejidos antiguos y arqueológicos. Estos equipos pueden caracterizar y clasificar los tejidos en función de 4 variantes: materias primas (fibras, tintes y mordientes), técnica textil, decoración y cronología, permitiendo la correcta clasificación de los tejidos y obteniendo una gran cantidad de datos que dan una visión de conjunto de estas producciones. Además estos datos no sólo sirven para la investigación sino que también son de utilidad para su conservación y restauración[6].

En el caso de fibras textiles, los resultados demuestran el claro predominio del lino y lana; mientras que en el caso de los tintes, la gualda, el índigo o pastel y la granza son los más usados, frente a otros tintes que las fuentes comentan como la púrpura, entre otros.

El uso de las técnicas de análisis para el estudio de los tejidos antiguos permite ampliar la investigación hacia campos todavía poco desarrollados como las materias primas, la tecnología textil, la circulación de materias primas, la llegada de nuevas técnicas textiles o la funcionalidad de estos tejidos.

Todos estos nuevos enfoques junto con el desarrollo de un nuevo marco cronológico establecido mediante C-14 (De Moor y Flück (eds.), 2007) están ayudando a conocer estos tejidos y abriendo campos de investigación inéditos.

Por último destacar que este tipo de estudios es de especial relevancia en el caso de nuestro país dado que en este campo, el del Patrimonio textil, es conocido el gran número de tejidos tantos antiguos como de la Edad Media que conserva.

6. A la hora de decidir el tratamiento de restauración más adecuado debe conocerse si los hilos teñidos sueltan o color, por ello se toma una muestra de estos hilos. Esta misma muestra es la que se utiliza después para el análisis del color.

BIBLIOGRAFÍA

BÉNAZETH, D. 2006: "From Thais to Thaias: Reconsidering her burial in Antinoopolis (Egypt)". En S. Schrenck (ed.): *Textiles in Situ. Their find spot in Egypt and neighbouring countries in the First Millenium CE,* Riggisberger Berichte, 13: 69-85.

BENDER JØRGENSEN, L. 2004: "A matter of material: changes in textiles from Roman sites in Egypt's Eastern desert". En *Tissus et vêtements dans l´Antiquité Tardive,* nº 11 de la revista *Antiquité Tardive.*

BRUWIER, M.-C. 1997: "De l'Égypte pharaonique à l'époque romaine". En M.-C. Bruwier (ed.): *Egyptiennes. Étoffes coptes du Nil: 51-58. Catálogo de la exposición,* Mariemont.

CARDON, D. 2001: "On the road to Berenike: a piece of tunic in damask weave from Didymoi". En P. Walton Rogers, L. Bender JØrgensen y A. Rast-Eicher (eds.): *The Roman textile Industry and its influence.* Oxford.

CORTOPASSI, R. y VERHECKEN-LAMMENS, C. 2007: "Tunics with loops: C14, spinning, weaving, dyes and iconography". En A. De Moor y C. Flück (eds.): *Methods of dating ancient textiles of the 1st millenium AD from Egypt and neighbouring countries:* 139- 149.

DE MOOR, A., SCHRENCK, S. y VERHECKEN-LAMMENS, C. 2006: "New research on the So-callled Akhmim silks". En S. Schrenck (ed.): *Textiles in Situ. Their find spot in Egypt and neighbouring countries in the First Millenium.* CE, Riggisberger Berichte, 13: 85-95.

DONADONI ROVERI, A. 2001: *Arte della tesitura.* Cuadernos del Museo Egizio. Turín.

GRANADA 1997: *Tejidos y Alfombras del Museo de La Alhambra. Catálogo de la exposición.* Patronato de La Alhambra y el Generalife. Granada.

GRANGER TAYLOR, H. 2000: "The Textiles from Khirbet Qazone (Jordan)". En D. Cardon y M. Feugère (eds.): *Archéologie des textiles des origines au Ve siècle. Actas del coloquio de Lattes* (octubre de 1999).

HOFENK DE GRAAF, J. H. 2004: *The colourful past. Origins, chemistry and identification of natural dyestuffs.* Berna-Londres.

HOFMANN-DE KEIJZER, R., VAN BOMMEL, M.R. y DE KEIJZER, M. 2007: "Coptic textiles: dyes, dyeing techniques and dyestuff analysis of two textile fragments of the MAK Vienna". En A. De Moor y C. Flück (eds.): *Methods of dating ancient textiles of the 1st millenium AD from Egypt and neighbouring countries:* 214-228.

PFISTER, R. 1935: "Teinture et alchimie dans l'Orient hellénistique". *Seminario Kondakovianum* 7: 1-59.

PRITCHARD, F. 2005: *Clothing Culture: Dress in Egypt in the First Millennium AD. Catálogo de la exposición.* The Whitworth Art Gallery. University of Manchester.

RODRÍGUEZ PEINADO, L. 1993: *Tejidos coptos en las colecciones madrileñas.* Tesis doctoral UCM. Madrid.

RODRÍGUEZ PEINADO, L. y CABRERA LAFUENTE, A. 2007: "The Collection of Coptic textiles in the Museo Nacional de Artes Decorativas [Madrid]: The results of the dye analysis and Carbon 14 testing". En S. Schrenck y C. Cäefluck (ed.): *Textiles and methods of dating. Actas de la 4ª reunión del grupo internacional de estudio Textiles from the Nile Valley.*

TARRASA 1999: *Egipte. Entre el sol y la media luna. Catálogo de la exposición.* Centro de Documentación y Museo Textil. Tarrasa.

TURELL, L. 2004: “La colección de tejidos del Museo de Montserrat”. *Tissus et vêtements dans l’Antiquité Tardive,* nº 11 de la revista *Antiquité Tardive*

SCHRENCK, S. (ed.) 2006: *Textiles in Situ. Their find spot in Egypt and neighbouring countries in the First Millenium. CE, 2006,* Riggisberger Berichte, 13.

VAN’T HOOFT Ph. P.M. y VOGELSANG-EATSWOOD, G.M. 1994: “Early medieval Egiptian textiles”. En Ph. P.M. van’t Hooft, M.J. Raven, E.H.C. van Rooij y G.M. Vogelsang-Eastwood (eds.): *Pharaoinic and early medieval Egiptian textiles. Collections of the National Museum of Antiquities at Leiden,* vol. VIII. Leiden.

VERHECKEN, A. 2007: “Relation between age and dyes of 1st millenium AD textiles found in Egypt”. En A. De Moor y C. Flück (eds.): *Methods of dating ancient textiles of the 1 st millenium AD from Egypt and neighbouring countries:* 206-213.

WILD, P.J. y WILD, F.C. 2008: “Cotton: the New Wool. Qasr Ibrim Study Season 2008”. En *Archaeological Textiles Newsletter,* 46: 3-6.

WILD, P.J.; WILD, F.C. y CLAPHAM, A.J.: “Roman cotton revisited”. En C. Alfaro y L. Karali (eds.): *Purpurae Vestes. II Symposoium Internacional sobre Tejidos y Tintes del Mediterráneo en el Mundo Antiguo:* 145-149.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

DATACIÓN ABSOLUTA POR LUMINISCENCIA DE MATERIAL ARQUEOLÓGICO: UNA EXPERIENCIA IBÉRICA DE CALIBRACIÓN INTER-LABORATORIOS

ABSOLUTE LUMINISCENCE DATING OF ARCHAEOLOGICAL MATERIAL: AN IBERIAN INTER-CALIBRATION EXPERIENCE

D. FERNÁNDEZ MOSQUERA[1], M.I. DIAS[2], J. SANJURJO SÁNCHEZ[1], D. FRANCO[2], G. CARDOSO[2], M.I. PRUDÊNCIO[2]

(1) Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal". Universidade da Coruña. Edificio de Servicios Centrales de Investigación. Campus de Elviña s/n. 15072 A Coruña.
(2) Grupo de Patrimonio y Ciencias. Instituto Tecnológico e Nuclear. Sacavém.

RESUMEN

La intercalibración laboratorial permite validar metodologías analíticas y comparar resultados. Sin embargo, en la datación por luminiscencia no es común, debido a dificultades del método: incertidumbres acerca del mecanismo físico de luminiscencia; pobre reproducibilidad y precisión interalícuota; heterogeneidad de la muestra y, asunción de hipótesis difíciles de contrastar (dosis anual constante, etc.). En la datación arqueológica, la existencia de diversos procedimientos y las cronologías independientes de la muestra hacen muy interesante el desarrollo de este ejercicio. Los laboratorios de Luminiscencia del Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN, Lisboa) y del Instituto Universitario de Xeoloxía (Universidade da Coruña) mantienen una colaboración científica y técnica que incluye ejercicios de intercalibración. En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre muestras arqueológicas de Galicia.

ABSTRACT

The laboratory intercalibration allows to validate analytical methodologies and compare results. However, this is not common in luminescence dating, due to methodological difficulties: uncertainties about the physical mechanism of luminescence; poor reproducibility and interaliquot accuracy; heterogeneity of the sample, and assumption of hypothesis difficult to check (constant annual dose, etc.). In archaeological dating, the existence of various procedures and independent chronological data of the samples makes it very interesting to develot this exercise. The Luminescence laboratories of the Technology and Nuclear Institute (ITN, Lisbon) and the University Institute of Geology (University of A Coruna) maintain a scientific and technical collaboration that includes intercalibration exercises. This paper presents the first results on archaeological samples of Galicia.

Palabras clave: Termoluminiscencia, Datación, Cronología, Arqueología, Torre de Hércules, Tejas.

Key words: *Thermoluminescence, Dating, Cronology, Archaeology, Hércules Tower, Tiles.*

I. INTRODUCCIÓN

"Hace muchos muchos años, en un reino junto al mar…", el poema de Edgar Allan Poe deja insatisfecho al arqueómetra puntilloso. Después de disfrutar con el poema no puede evitar el preguntarse, ¿cuántos años, señor Poe, por favor? El establecimiento de cronologías exactas ha sido siempre una preocupación importante en las Ciencias Históricas. En tiempos históricos, la existencia de registros escritos permite la construcción de calendarios y cronologías con exactitud y precisión. Cuando no disponemos de tales registros, es necesario recurrir a propiedades físicas dependientes del tiempo con el fin de asignar edades.

La datación absoluta de objetos y yacimientos arqueológicos es hoy en día un recurso cada vez más accesible para la comunidad arqueológica. Las técnicas analíticas más empleadas, el ^{14}C y las técnicas de luminiscencia, han probado su eficacia en numerosos casos en un amplio rango de edades, desde centenares a miles de años. Ambas técnicas son independientes pero complementarias, por lo que es posible contrastar las edades obtenidas con cada método (Murray y Olley, 2002) cuando existe la seguridad de que los materiales datados, materia orgánica en el caso del ^{14}C y sedimentos o cerámica en el caso de la luminiscencia, son coetáneos.

Siendo el ^{14}C un método más antiguo y difundido, su empleo tiene ya una larga tradición entre la comunidad arqueológica de la Península Ibérica (Gilman, 2003). El uso de las técnicas de luminiscencia no está tan extendido, quizá por ser una técnica más reciente y por la escasez de laboratorios que las poseen. En España, cabe destacar el trabajo pionero del Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, que ya en 1988 estableció el primer laboratorio de Termoluminiscencia de España (Calderón *et al.,* 1988). En Portugal, el Grupo de Patrimonio y Ciencias del Instituto Tecnológico y Nuclear (ITN) viene colaborando desde el año 2001 con en Instituto Portugués de Arqueología para la datación sistemática del patrimonio arqueológico luso. Durante este tiempo, ha realizado un gran número de dataciones en todo tipo de piezas arqueológicas. Más recientemente, en 2005, el Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal" (IUX) de la Universidade da Coruña pone en marcha una Unidad de Geocronología que incluye un laboratorio de Luminiscencia (TL y OSL). Para el desarrollo de las metodologías analíticas necesarias, hemos contado desde el principio con la ayuda y colaboración del grupo del ITN y en la actualidad ambos laboratorios desarrollan ejercicios de intercalibración sobre diferentes materiales con el fin de mejorar sus prácticas analíticas y la precisión de sus resultados.

II. CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINISCENCIA COMO TÉCNICA ANALÍTICA

El empleo de la luminiscencia como método de datación absoluta empieza en la década de los años 50 del pasado siglo (ver Roberts, 1997, para una excelente revisión del empleo de las técnicas de luminiscencia en la arqueología). Se fundamenta en el hecho de que los cristales de ciertos minerales acumulan defectos electrónicos debido a la interacción con la radiación ionizante ambiental. Esta acumulación es proporcional al tiempo de interacción y origina una señal que se puede medir en el laboratorio. La datación de un objeto necesita pues de la medida de dos magnitudes: la Paleodosis y la Dosis anual (Aitken, 1985):

$$\text{Edad} = \frac{\text{Paleodosis (G}\gamma\text{)}}{\text{Dosis anual (G}\gamma\text{ / año)}}$$

La Paleodosis es la dosis acumulada en el material a datar. Se mide en un lector de luminiscencia, donde se produce la excitación de los electrones acumulados en los defectos electrónicos con la subsiguiente

emisión de luz. La emisión luminosa se expresa en radiación mediante la comparación de la emisión producida por diversas dosis proporcionadas en el laboratorio. La medida de la Paleodosis, a diferencia de la mayoría de técnicas analíticas, no se obtiene por comparación con un material estándar sino que confía en el hecho de el proceso luminiscente se pueda reproducir fielmente en el laboratorio. Este es el principal reto de los procedimientos analíticos para la medida de la Paleodosis y, aunque hay una gran variedad en función de si se mide TL u OSL, el más exitoso hasta ahora es el llamado SAR (Murray y Wintle, 2000).

La Dosis anual es la dosis que recibe el mineral por unidad de tiempo y se mide en el entorno inmediato del mismo. Depende fundamentalmente de la concentración en U, Th y K y en mucho menor medida de la radiación cósmica. Las incertidumbres relativas a esta medida no se centran en el método analítico, sino más bien en cuanto a la certidumbre de que el material a medir se haya comportado como un sistema cerrado. Así, las variaciones ambientales que hayan podido provocar cambios de humedad en el material o la variación de las concentraciones de los nucleidos de las cadenas radiactivas a lo largo del tiempo repercuten en el cálculo de una Dosis anual no representativa.

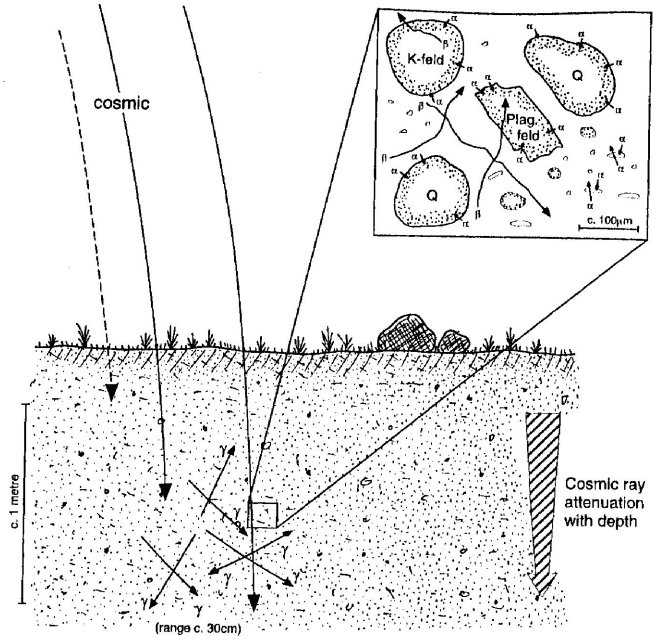


Figura 1. Representación esquemática de las características de la radiactividad natural y su efecto en los minerales de un sedimento.

Para que la datación sea exacta, es imprescindible que el mineral haya perdido la señal acumulada antes de incorporarse al objeto que se está datando (ver figura 1). Eso puede suceder mediante el calentamiento de la pieza, por lo que la señal susceptible de ser acumulada se liberará también mediante calentamiento (Termoluminiscencia). También, en el caso de la Luminiscencia Estimulada Ópticamente, puede suceder debido a la exposición a la luz solar del material. En este último caso, la señal se acumulará siempre que el material quede enterrado, a salvo de la luz solar durante todo el tiempo que se quiere datar.

El mecanismo básico de la luminiscencia es la liberación de fotones debido a transiciones electrónicas de electrones localizados en pozos más o menos estables de potencial. Este mecanismo a nivel atómico todavía no está completamente comprendido (Mckeever y Chen, 1997), pero dada la escala a la que se produce intervienen mecanismos cuánticos, que son fundamentalmente aleatorios. Esto implica que, a

escala atómica, la emisión luminiscente es fundamentalmente irreproducible e irrepetible. Afortunadamente, esta limitación no impide su uso como método analítico aunque sí lo condiciona. La inherente falta de reproducibilidad del mecanismo de luminiscencia impide el uso de patrones y obliga, en el peor de los casos, a la medida de un gran número de alícuotas para obtener una precisión aceptable.

III. COLABORACIÓN ENTRE EL ITN Y EL IUX

La investigación en nuevas metodologías analíticas y aplicaciones a la arqueología de la luminiscencia progresa cada año con la publicación de un gran número de trabajos que no sólo presentan resultados sino que proponen modificaciones en los métodos de medida y preparación de muestras. La inexistencia de ejercicios de intercalibración de los laboratorios de datación por luminiscencia a nivel internacional hace que sea difícil evaluar los diferentes métodos existentes en la literatura. Si bien las aproximaciones clásicas funcionan bien en la mayoría de los casos, la implementación de un nuevo método en el laboratorio supone un considerable esfuerzo que no siempre es posible realizar a corto plazo.

Con el fin de poder avanzar en la incorporación de las nuevas metodologías y afinar las ya empleadas, los grupos de datación del Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) y del Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal" (IUX) decidieron emprender hace dos años una colaboración científica con los siguientes objetivos:

i. Conocimiento de las metodologías de trabajo en cada laboratorio y comparación de resultados.

ii. Puesta a punto de nuevas metodologías de medida.

iii. Creación de una base de datos de materiales y metodologías asociadas.

iv. Creación de un banco de materiales de referencia.

En esta fase de la colaboración, se ha completado el primer objetivo propuesto. Para ello, un investigador del IUX (J. Sanjurjo) ha realizado estancias en el laboratorio del ITN y hemos comparado los procedimientos empleados en ambos laboratorios en ambientes sedimentarios eólicos (Días *et al.,* 2007). En este trabajo presentamos los primeros resultados de este ejercicio con materiales arqueológicos.

La intercalibración entre laboratorios de los procedimientos analíticos es una práctica común en la mayoría de técnicas analíticas. Es un ejercicio para determinar si la exactitud de los métodos analíticos que se utilizan entre los laboratorios son adecuados además de ser precisos. En él, los métodos y el material de análisis se hace con arreglo a una muestra normalizada o de referencia. La fiabilidad y la comparabilidad se evalúan externamente mediante estos ejercicios con los cuales un laboratorio puede objetivamente demostrar la "bondad" de los resultados que está produciendo.

La ausencia de materiales estándar en luminiscencia complica enormemente la realización de un ejercicio de estas características. La única posibilidad es buscar materiales que hayan sido datados por otro método. El método más popular en arqueología, el radiocarbono, sólo se puede aplicar a materiales de origen orgánico, por lo que es imposible la datación directa de materiales inorgánicos mediante el mismo. Esto implica que la comparación de las edades obtenidas mediante ^{14}C y luminiscencia nunca proceden del mismo material. En los sedimentos arqueológicos esto puede representar un problema importante cuando el estrato muestreado ha sufrido episodios de reocupación o perturbación. Sólo se podrán comprar las edades cuando el material orgánico se haya depositado al mismo tiempo que la cerámica se haya cocido.

No todos los yacimientos cumplen esta condición, por lo que la comparación de resultados entre ambos métodos ha de ser tomada con la mayor de las cautelas.

IV. PRIMEROS RESULTADOS

Para comparar los procedimientos de preparación de muestras y medida de las dosis equivalentes y dosis anuales en cada laboratorio, es necesario utilizar una muestra bien caracterizada desde el punto de vista arqueológico y cronológico. Las muestras escogidas pertenecen a una construcción auxiliar de la Torre de Hércules (A Coruña), excavada y caracterizada por J.M. Bello Dieguez (1994) entre los años 1992 y 1994. Esta construcción poseía un tejado de tejas cuyos sucesivos usos y derrumbes dan lugar a una estratigrafía compleja aunque bien delimitada y datada por medio de ^{14}C. La cronología de esta secuencia se encuadra en el periodo medieval (siglos XI al XV) y permite asignar las muestras de tejas seleccionadas a estratos de niveles orgánicos datados por ^{14}C.

Una vez seleccionadas, cada teja estudiada se repartió entre los laboratorios, que aplicaron sus procedimientos estándar de datación. Los métodos de preparación de muestra en el IUX y el ITN son muy similares y son los comúnmente empleados en la mayoría de laboratorios de luminiscencia. Brevemente, las tejas se disgregan y tamizan y se les aplican tratamientos químicos para disolver carbonatos y materia orgánica. Las fracciones seleccionadas para análisis (90-180 µm y 180-250 µm) se someten a una purificación química para aislar el cuarzo en el caso de la fracción mayor o bien se mide como fracción polimineral en el caso de la fracción menor.

La evaluación de las paleodosis obtenidas en uno y otro laboratorio se ha realizado en dos fases. La primera de ellas ha consistido en comparar las paleodosis obtenidas para una misma fracción de tamaño de grano del cuarzo extraído de las muestras de cerámicas, por medio de uno de los métodos mas clásicos de luminiscencia: el additive-dose TL (AD TL) (Aitken, 1985). Dada la amplia experiencia del ITN con este procedimiento, consideraremos estos resultados como referentes del valor real de las muestras. Los resultados obtenidos con este método son muy similares en ambos laboratorios si bien el error obtenido en el IUX es mayor que en el ITN.

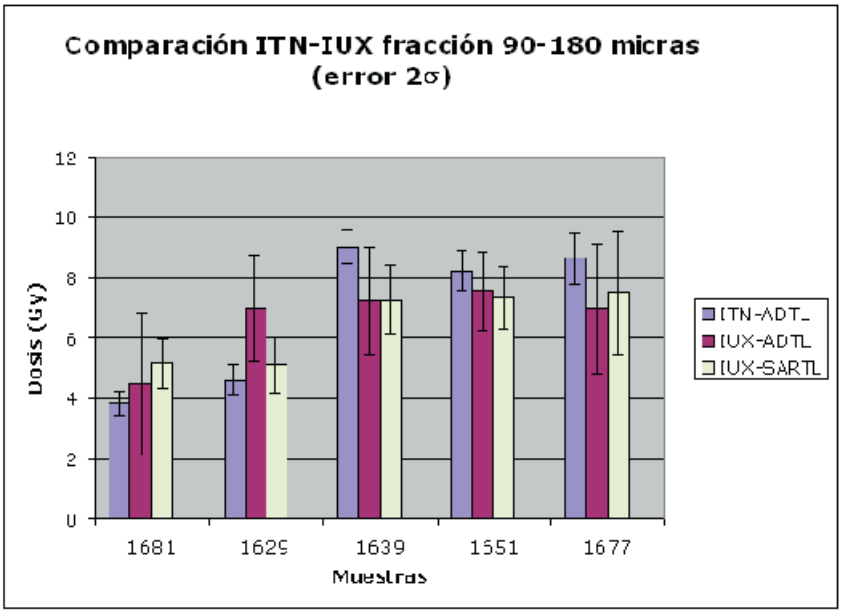


Figura 2. Resultados obtenidos por el ITN y el IUX para la fracción mineral menor por medio de los métodos AD TL y SAR TL.

En una segunda fase de análisis, el IUX puso en práctica un nuevo método de medida de la paleodosis para calcularla en las mismas muestras: el SAR (Murray y Wintle, 2000). Este método, es el empleado habitualmente en Luminiscencia Estimulada Ópticamente (OSL) y ha sido adaptado para TL (SAR TL). El resultado obtenido con este método mostró ser muy similar al anterior, si bien el error obtenido es en general menor. También, se testaron ambos métodos con una fracción mayor de tamaño de grano (180-250 micras) para observar el comportamiento de esta fracción ante el uso de ambos métodos. En este caso, los resultados fueron ligeramente mejores, muy similares a los del ITN y mas similares entre si, para ambos métodos.

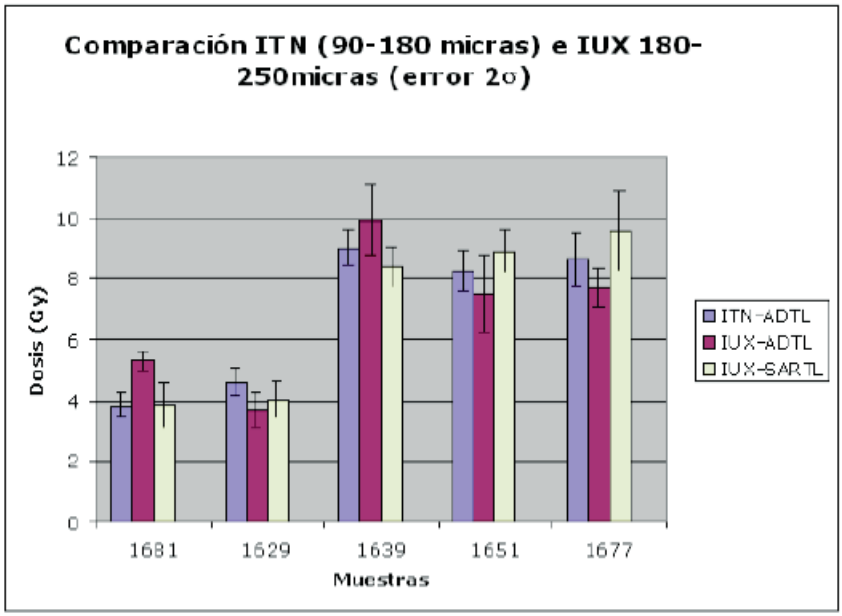


Figura 3. Comparación de los resutlados obtenidos por el ITN para la fracción menor y los obtenidos por el IUX para la fracción mayor.

V. CONCLUSIONES

La primera fase del trabajo de intercalibración realizado entre ambos laboratorios, ha concluido con buenos resultados. En primer lugar, los resultados obtenidos para las mismas muestras son muy similares para ambos laboratorios. En segundo lugar, la puesta en práctica de un nuevo método ha mostrado que los resultados obtenidos con éste, son muy similares a los que se obtienen con métodos clásicos, mejorándolos incluso, al obtenerse un menor error.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITKEN, M.J. 1985: *Thermoluminescence dating.* Academic Press. London. 246 pp.

BELLO DIEGUEZ, J.M. 1994: *Excavaciones bajo el faro romano de la Torre de Hércules. Informe del Museo Arqueolóxico Provincial.* http://www.ctv.es/USERS/sananton/tpdf.htm.

CALDERÓN, T.; ARRIBAS, J.G.; MILLÁN A. y BLASCO, C. 1988: "Servicio de datación absoluta por termoluminiscencia y analítica de cerámicas arqueológicas en la Universidad Autónoma de Madrid." *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología* 15: 385-398.

DIAS, M.I.; FERNÁNDEZ MOSQUERA, D.; SANJURJO SÁNCHEZ, J.; FRANCO, D.; CARDOSO, G. y PRUDÊNCIO, M.I. 2007: "Luminescence dating laboratory intercallibration: first results from an iberian exercise." *Libro de resúmenes. 9th International Conference "Methods of absolute chronology". 25-27th April 2007.* Gliwice, Polonia: 62.

GILMAN, A. 2003: "El impacto del radiocarbono sobre el estudio de la prehistoria tardía de la península ibérica: Breves comentarios." *Trabajos de Prehistoria* 60 (2): 7-13.

MCKEEVER, S.W.S. y CHEN, R. 1997: "Luminescence Models." *Radiation Measurements* 27 (5/6): 625-661.

MURRAY, A.S. y OLLEY, J.M. 2002: "Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review." *Geochronometria* 21: 1-16.

MURRAY, A. S. y WINTLE, A.G. 2000: "Luminescence dating of quartz using an improved single aliquot regenerative dose protocol." *Radiation Measurements* 32: 57-73.

ROBERTS, R.G. 1997: "Luminescence dating in Archaeology: from origins to optical." *Radiation Measurements* 27 (5/6): 819-892.

DATACIÓN POR TÉCNICAS LUMINISCENTES DE LA TUMBA 3 Y EL CONJUNTO CAMPANIFORME DE LA PIJOTILLA (BADAJOZ, ESPAÑA)

LUMINISCENCE DATING OF BURIAL 3 AND THE BELL BEAKER POTTERY FROM LA PIJOTILLA (BADAJOZ, SPAIN)

CARLOS P. ODRIOZOLA[1], VÍCTOR HURTADO PÉREZ[2], M. ISABEL DIAS[3], M. ISABEL PRUDÊNCIO[3]

(1) Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla. Avd. Américo Vespucio 49. 41092 Sevilla. España. (carlos@icmse.csic.es)
(2) Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla. C/ María Padilla S/N. 41004 Sevilla. España.
(3) Instituto Tecnológico e Nuclear. Estrada Nacional 10. 2686-953 Sacavém. Portugal.

RESUMEN

La Pijotilla es uno de los mayores asentamientos (80 Ha) del III milenio A.N.E. de la Península Ibérica, siendo considerado un lugar central dentro de la red de poblamiento de Tierra de Barros (comarca de Tierra de Barros, Badajoz). Desde los años 70 se han excavado el poblado y la necrópolis, destacando la tumba T3, excavada en la roca donde se realizaron 300 inhumaciones en capas sucesivas generando una estratigrafía amplia y que contenía un variado y cuantioso ajuar. En el poblado se ha recuperado una colección de fragmentos campaniformes sin contexto estratigráfico, junto a una gran diversidad de estilos decorativos pertenecientes a la última fases del III milenio ANE. El objetivo propuesto en este trabajo ha sido datar diferentes niveles de la tumba T3 y compararlas con otras dataciones C14; al igual que datar la cerámica campaniforme de superficie del poblado y compararla con dataciones absolutas procedentes de contextos habitacionales.

ABSTRACT

La Pijotilla, one of the largest settlements through out all Iberian Peninsula, and is considered a central place of Tierra de Barros Copper Age settlement network (Comarca de Tierra de Barros, Badajoz). During the field works that has been going on since the 70's, the settlement and the necropolis area have been located. Several tombs have been excavated, standing out tomb 3, build on the rock with 300 buried individuals and a great richness of funerary objects alternated in several layers. During survey works in the settlement a large amount of decorated pottery from III millennium BC including a great number of Bell Beaker pottery, without a stratigraphic context, have been found. The focus in this work is to date different layers of T3 using luminescence techniques and compare them with old and new radiocarbon dates, as well as to date the survey-collected Bell Beaker pottery and compare them with the settlement radiocarbon dates.

Palabras clave: Comarca de Tierra de Barros, Badajoz, III milenio ANE, Termoluminiscencia, Campaniforne, Radiocarbono.

Key words: *Comarca de Tierra de Barros, Badajoz, III millenium ANE, Thermoluminescence, Bell Beaker pottery, radiocarbon.*

I. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones arqueológicas en la provincia de Badajoz se han dedicado en los últimos 30 años a cubrir el vacío que en referencia al número y tipo de asentamientos conformaban el paisaje poblacional de la Edad del Cobre en esta provincia. Si desde inicios de los años 80 el número de asentamientos de la Edad del Cobre conocidos en la provincia de Badajoz se limitaba prácticamente a dos, a principios de los años 90 esta cifra ascendió a 70 tras el trabajo de J.J. Enriquez (1990), y a principios del siglo XXI la cifra volvió a crecer situándose *ca.* 150 tras las prospecciones de V. Hurtado y P. Mondejar. La cifra, lejos de estancarse, sigue aumentando pero quizás no de manera tan espectacular; la construcción de la Presa de la Alqueva ha provocado no ya nuevas prospecciones sino lo que es más importante numerosas excavaciones en nuevos asentamientos claves del III milenio ANE como es el caso de San Blas (Hurtado 2004a,b), alcanzándose una cifra cercana a los 180 yacimientos catalogados (Fig. 1).

A pesar de todos estos esfuerzos por obtener un registro completo en cuanto al número y tipo de asentamientos, el conocimiento queda sesgado por la falta de excavaciones y la mayoría de los yacimientos calcolíticos conocidos lo son por prospecciones o excavaciones de urgencia, habiéndose llevado a cabo escasas investigaciones sistemáticas que impliquen un programa analítico que incluya dataciones absolutas, lo que implica una enorme dificultad a la hora de entender las dinámicas de poblamiento en la Cuenca media del Guadiana.

Este sesgo en la investigación se hace más evidente si tenemos en cuenta el desconocimiento que se tiene entre los investigadores europeos del fenómeno campaniforme en la Cuenca media del Guadiana, ya que la mayoría de los trabajos de éstos se basan en publicaciones de los años 70, principalmente la de R. Harrison (1977), ignorando los últimos 30 años de investigación en esta región a la hora de realizar síntesis a escala europea.

Siendo escasos los programas analíticos que contemplen dataciones absolutas, como se ha mencionado, en este trabajo pretendemos dar a conocer las últimas dataciones llevadas a cabo mediante C14-AMS y Termoluminiscencia (TL) en el yacimiento de La Pijotilla, concretamente en la necrópolis (tumba T3) y el asentamiento (cerámica campaniforme de superficie), para así empezar a llenar ese vacío.

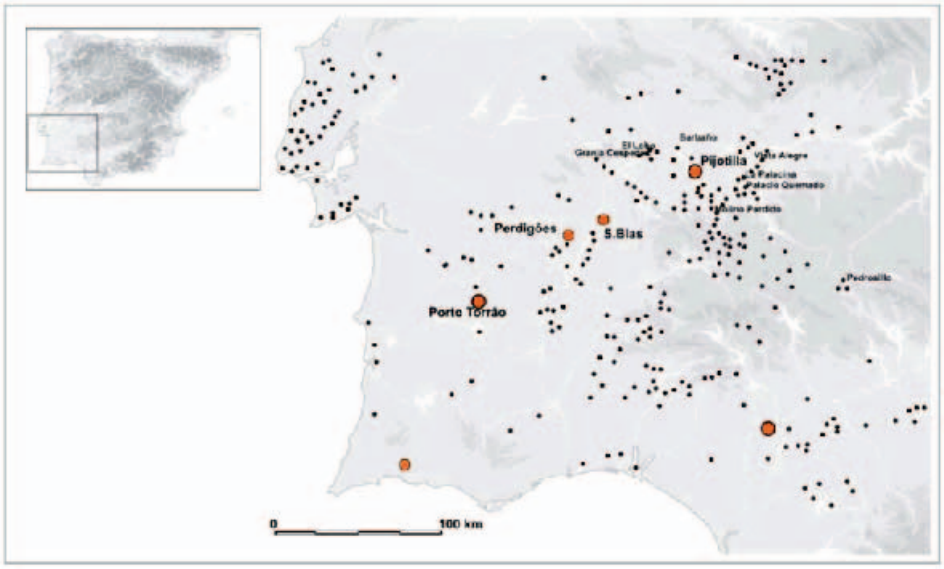


Figura 1. Mapa del Suoreste peninsular con los principales yacimientos calcolíticos (círculos rojos: grandes asentamientos).

Consideramos que la TL es la técnica de datación absoluta idónea para datar cerámicas recuperadas en prospecciones de superficie, ya que fecha el momento de producción de los objetos cerámicos y no los contextos de deposición como el C14-AMS, y además puede proporcionar una información fiable del momento de abandono de aquellos yacimientos que conocemos sólo a través de prospecciones.

La base de la técnica de datación por TL se sustenta en que los minerales presentes en las arcillas —principalmente el cuarzo— acumulan la energía procedente de la radioactividad ambiental. Si los minerales presentes en la arcilla son calentados a temperaturas superiores a 500ºC o expuestos a una irradiación luminosa durante algunas horas, éstos liberaran la energía acumulada con el tiempo en forma de luz. Este sistema de acumulación-liberación es la base del sistema de datación por luminiscencia (Aitken, 1985), funcionando de cronómetro desde la última vez que el recipiente cerámico fue sometido a una temperatura superior a 500ºC, generalmente coincidiendo con el momento de su producción, que puede a su vez puede coincidir o no con el contexto de deposición, que es lo que mayoritariamente datamos por C14. A nivel práctico se traduce en fechas ostensiblemente más antiguas que las obtenidas mediante radiocarbono, ya que el radiocarbono fecha propiamente un contenedor (unidad estratigráfica) y por tanto su contenido (incluyendo toda la cultura que contenga la unidad estratigráfica) independiente de la historia vivida por esos ítems y su momento de producción.

II. LA PIJOTILLA: NECRÓPOLIS Y ASENTAMIENTO

La Pijotilla es de entre los más de 180 yacimientos calcolíticos localizados en la Cuenca Media del Guadiana (Hurtado, 1995), uno de los mayores y más singulares yacimientos de la Edad del Cobre tanto de la Cuenca Media del Guadiana como de toda la Península Ibérica con sus *ca.* 80 Ha. de extensión. Las intervenciones arqueológicas a las que ha sido sometido durante los últimos 20 años (prospecciones y excavaciones) han proporcionado una imagen compleja de este yacimiento, al que se le atribuye una posición política, social y económica preeminente en la Cuenca Media del Guadiana (Hurtado, 1995, 1999). Entre el ingente registro de materiales recuperados cabe destacar los ídolos (numerosos tipos) y la cerámica decorada (campaniforme, peinadas, pastillas repujadas, simbólicas, etc.) que lo hace ser un referente a nivel regional e ibérico.

Tras la campaña de excavación de 1981 en la que se descubre la necrópolis y se excavan las tumbas T1 *(ca.* 80 inhumados) y T2, en 1990 se excava la T3 *(ca.* 300 inhumados) (Hurtado, 1991, 1999; Hurtado *et al.,* 2000). En La Pijotilla las tumbas se ubican en el sector oriental dentro del recinto circular formado por el foso exterior. Los *tholoi* semihipogeos, T3 y T1, presentan una disposición en V con diferentes orientaciones y realizadas con técnicas constructivas muy similares; en ambos casos los sepulcros se encuentran excavados en tierra caliza y, aunque no se han conservado, es posible que las cámaras se cubrieran con una falsa cúpula, aunque en su interior sólo se hallaron unos (insuficientes) bloques de tierra caliza (Fig. 2). Ambas tumbas han sido consideradas como pertenecientes a una fase precampaniforme (Hurtado, 1999: 55). Por su parte la tumba campaniforme T2 es una tumba circular de construcción diferente y número de inhumados mucho menor *(ca.* 30).

La T3 se encuentra excavada a más profundidad y cortada por la T1 en la zona del corredor, lo que hace suponer que es más antigua que la T1. Además de este hecho los ajuares en ambas tumbas precampaniformes son diferentes, siendo muy simples en la T1 (una lámina de sílex y una punta de flecha por individuo y en algunos casos ocre) y variados y ricos en la T3 donde se pudo identificar un destacado ajuar individual (Fig. 3) compuesto por un puñal de cobre con escotadura, dos vasos cerámicos pequeños, una lámina de sílex y ocre o limonita, entre el centenar de vasos cerámicos, puntas de flecha y láminas de sílex, un puñal de piedra verde, miles de cuentas de collar, vasos de hueso, conchas marinas, ídolos falange, de hueso largo, figurillas antropomorfas, betilos y grandes vasos que correspondían al conjunto de ajuares de los 300 restantes enterramientos (Hurtado, 1999: 56).

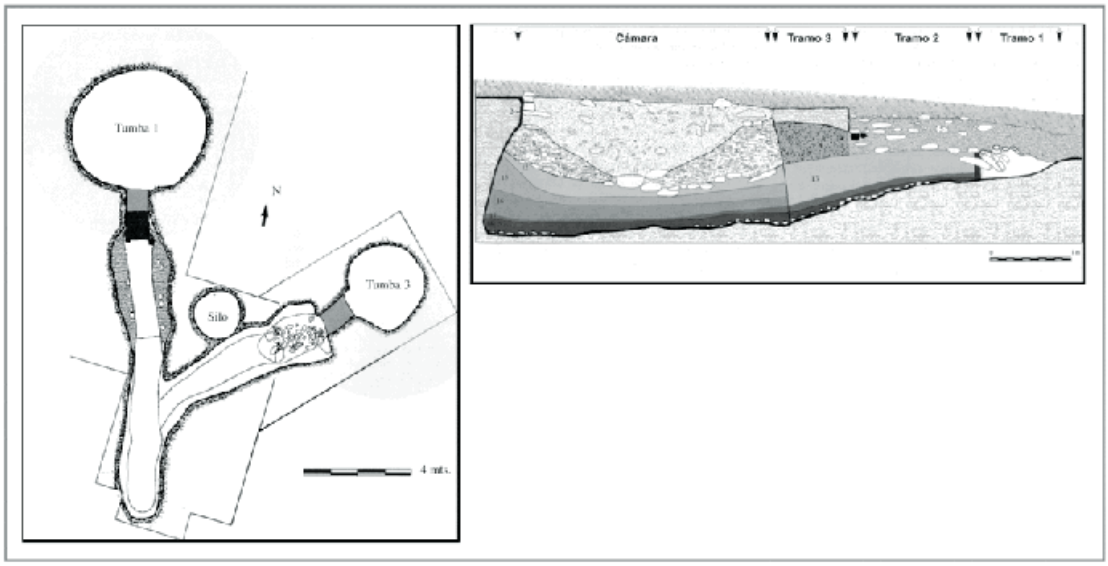


Figura 2. Necrópolis de La Pijotilla (Hurtado *et al.,* 2000: 250, fig. 1); y estratigrafía de la T3 (Hurtado *et al.,* 2000:253, fig. 3).

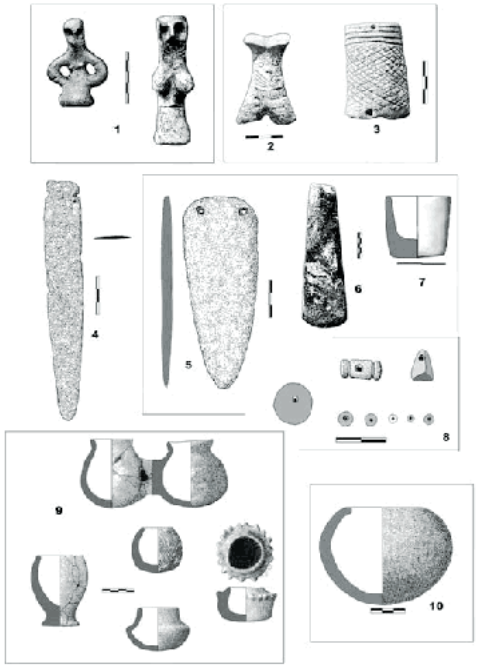


Figura 3. Objetos representativos del ajuar de la tumba 3: 1) Idolos antropomorfos de cerámica. 2) Idolo falange. 3) Vaso de hueso. 4) Puñal de cobre. 5) Puñal de piedra verde. 6) Hacha pulida. 7) Vaso de caliza. 8) Colgantes de piedra. 9) Vasos cerámicos. 10) Vaso cerámico datado por TL.

Junto a la T1 se halla la T2 de forma circular y ya con cerámica campaniforme en su interior (Hurtado, 1986), su arquitectura es muy simple, consistente en un círculo de pequeñas pizarras colocadas en vertical y parcialmente hincadas en una zanja rellena de tierra para su contención. Se habían inhumado 34 individuos: 16 adultos, 5 jóvenes y 13 niños (Hurtado, 1984). El ajuar quedó removido por la acción del arado, pero se pudieron recuperar 5 vasos de pequeño tamaño, dos vasos campaniformes de estilo puntillado geométrico, ídolos falange decorados, un ídolo tolva, un vaso de mármol, cientos de cuentas de collar, varias láminas de sílex y puntas de flecha.

Tres metros separan la T1 de la T2, lo que sugiere una construcción más tardía, quizás cuando la cúpula de la T1 se hubiera desplomado y el túmulo desaparecido (Hurtado, 1999:58).

En la T3 se practicaron numerosa inhumaciones, *ca.* 300 individuos, entre los que se pudo identificar una serie de rasgos morfogenéticos, sobre una muestra de 180 individuos, cuya frecuencia permite establecer relaciones familiares (Hurtado *et al.,* 2000). La disposición de los esqueletos hace pensar que durante la utilización de la tumba se amontonaban los cráneos y huesos largos junto a las paredes para hacer sitio a las nuevas inhumaciones que irían ocupando el centro de la cámara, hasta formar varios niveles superpuestos.

La única fecha radiocarbónica de la necrópolis publicada hasta el momento procede de esta tumba T3 y corresponde al nivel medio (UE 15/16) de la sucesiva acumulación de niveles compuestos por los enterramientos y el derrumbe de la cubierta con los que se forma la estratigrafía de la cámara (Beta-121143: 4130±40 BP).

La datación por TL nos permitirá datar el ajuar, y por tanto diferentes momentos de uso de la sepultura. La selección de dos vasos se ha realizado en base a la estratigrafía de la T3 y se ha seleccionado un vaso de uno de los estratos intermedios, UE 16, coincidiendo con la mayor acumulación de inhumaciones en la T3 (Fig. 2.2).

III. MATERIALES

Hemos seleccionado 2 muestras de la T3 para datar, en primer lugar una muestra de carbón procedente de la UE 18 (C14-AMS) y otra muestra cerámica —vaso 15— procedente de la UE 16 (TL) (Fig. 3). Al seleccionar estas muestras pretendemos conocer en primer lugar si los vasos depositados en el nivel principal de la tumba (máxima acumulación de inhumaciones) son sincrónicos con los restos de actividad ritual hallados en ese nivel, ya que muchos de los vasos han sido movidos de su deposición original para hacer hueco a nuevas inhumaciones, y en segundo lugar cuánto tiempo estuvo en uso la sepultura desde su construcción (nivel base UE 18 Beta-121143: 4130±40 BP) hasta su abandono (UE 15).

Se han seleccionado igualmente tres fragmentos cerámicos (TL) recuperados en las prospecciones de superficie, ya que si bien el yacimiento de La Pijotilla es uno de los que cuenta con más dataciones absolutas de la provincia de Badajoz (8 dataciones, 6 del asentamiento y 2 de la necrópolis) no se han podido datar los contextos campaniformes ni de abandono del yacimiento. De los tres fragmentos, dos son campaniformes (estilos Marítimo e Inciso) (Fig. 4) y uno decorado a peine. La selección de diferentes esti-

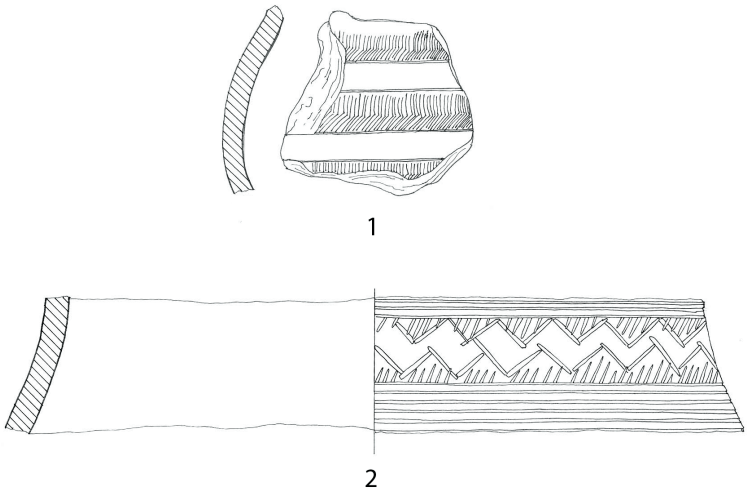


Figura 4. Vasos campaniformes de superficie: 1) Vaso de estilo marítimo (P-SUP-27). 2) Vaso de estilo regional (P-SUP-13).

los cerámicos se hace con la intención de ver si efectivamente en La Pijotilla conviven ambos estilos campaniformes o si por el contrario corresponden a diferentes etapas evolutivas y por ende cronológicas. Al datar la cerámica campaniforme de superficie estamos datando la fase campaniforme del yacimiento y con ella una aproximación a la cronología de la sepultura T2.

IV. PROTOCOLO

La TL ha sido medida siguiendo el protocolo de medida del ITN. La toma de muestras del vaso 15 de la T3 y de los fragmentos cerámicos P-SUP-37, P-SUP-27 y P-SUP-13 se ha realizado siguiendo dos protocolos, uno para la obtención de la fracción gruesa (90-160 μm) y otro para la fracción fina (4-11 μm).

Para obtener la fracción gruesa de 90-160 m eliminamos *ca.* 1 cm alrededor de la muestra con ayuda de un disco de corte, de tal forma que sólo nos quedamos con el núcleo de la cerámica, tras lo que limpiamos la superficie del corte. Posteriormente procedemos a cribar el material, y atacarlo con HCl (20%) y lo lavamos sucesivas veces con agua destilada. Una vez limpio el material le agregamos H_2O_2 al 10% (esta operación puede ser realizada en una estufa a 50ºC para acelerar la reacción), repitiéndose el número de veces que sea necesario hasta que no ocurra reacción alguna, y lavamos con agua destilada sucesivas veces. Seguidamente se vuelve a atacar con HCl a 10% y se lava. El residuo insoluble resultante de todas estas operaciones es secado en una estufa a 50ºC.

Los discos donde se depositarán las muestras son vaporizados con silicona previamente a la colocación uniforme de los granos.

Para obtener la fracción fina de 4-11 μm se recoge una muestra de polvo con una broca de carburote tungsteno de 2 mm de diámetro. El polvo es tratado con ácido clorhídrico al 10% durante 10-15 minutos, y centrifugado en un tubo de plástico de centrífuga. Repitiéndose el proceso hasta que se considere concluido. Se deja reposar 30 minutos, de tal forma que los granos se asienten y decanten en el líquido sobrenadante. Se vierten 3/4 partes del tubo en un tubo de ensayo con agua destilada, se agita cuidadosamente dicho tubo de ensayo y se centrifuga a 5200 rpm durante 2 minutos, repitiéndose el proceso hasta que el líquido se aprecie limpio. Tras lo que vierte en un tubo con 4 cm de etanol, seguido por un proceso idéntico con acetona y se decanta. Una vez decantada secamos la muestra en una estufa 50ºC. Tras lo que preparamos una suspensión de 1 ml de acetona por cada 2 mg de material, y se deposita en discos de aluminio previamente depositados en frascos que se secan en la estufa hasta que puedan ser utilizados como muestras de fracción fina para medir.

Dosis equivalente (D_E)

Las medidas de luminiscencia se han realizado en un lector TL/OSL DA-15 equipado con un fotomultiplicador PMT EMI 9235QA. La luminiscencia se detecta a través un filtro BG-25 e HA.

La irradiación beta se realiza con fuente beta 25mCi 90Sr/90Y que fornece 0.096 ± 0.0031 Gy/s.

La dosis equivalente se mide por TL usando el método aditivo. Los discos se agrupan en medición de la TL natural (nTL), natural + β1 (dosis semejante a la natural), y natural + β2 (dosis semejante al doble de la dosis natural):

TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ TL natural (nTL)
TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ valor de fondo
Irradiación beta (β1)
TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ TL (β1)
TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ valor de fondo

Irradiación beta (β2)

TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ TL (β2)

TL 500ºC, 5ºC/s ⟶ valor de fondo

Dosis Externa (D_γ, cósmica)

La irradiación gamma procedente del exterior de la muestra toma un gran protagonismo debido al alto poder de penetración (30 cm en suelos), aún así, carecemos de medidas de fondo para las cerámicas procedentes de las prospecciones y para la cerámica de la tumba, por lo que tomaremos el valor promedio experimental, obtenido de las mediciones realizadas en museos, la literatura científica y las mediciones sobre el terreno, que a día de hoy se sitúa en una $D_{\gamma ext}$=0.6 mGy/año y le aplicaremos un $\sigma_{\gamma int}$=1.2 mGy/año (Castaign *et al.,* 2004). Los valores estimados para la radiación cósmica pueden encontrarse tabulados en (Prescott y Hutton, 1988).

Eficiencia alpha (a)

La radiación alpha es menos penetrante que la beta o la gamma. Es por esto que la dosis alpha debe ser corregida. Así, se compara la respuesta luminiscente de la muestra para las irradiaciones alpha y beta. Usando el *a-value* tal y como lo define Aitkien (1985).

Humedad (WF)

La humedad (WF) se define como el producto de la porosidad (W) por la tasa de saturación (F). Para el cálculo de la edad usaremos el valor tabulado para la humedad: 8 ± 5 % (Aitkien, 1985). Pero hemos de tener en cuenta que el coeficiente de absorción del agua es un 50% superior que el de la cerámica en el caso de la radiación α, y un 25 y 14% en el caso de la β y la γ, con lo que la dosis de radioactividad anual recibida por la muestra variará dependiendo de la humedad ambiental[1].

Composición del espécimen

El contenido en radioelementos naturales se calcula debido a su emisión de partículas radioactivas. La composición elemental y el contenido de las muestras en radioelementos naturales (K, TH, U) medidos a través de análisis químico instrumental de activación con neutrones térmicos, usando el reactor portugués de investigación, según se describe en Dias y Prudêncio (2007).

Cálculo de la edad

El cálculo de la edad se realiza teniendo en cuenta todos los factores indicados anteriormente y utilizando la ecuación:

$$\text{Edad} = \frac{D_{\text{equivalente}}}{D'_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma int} + D_{\gamma ext} + D'_{c}}$$

Donde D'_{α} es el valor tabulado para la eficiencia alpha (Aitkien, 1985), D_{β} el valor de la radiación beta emitida por la propia cerámica y D'_{c} el valor tabulado para la radiación cósmica (Prescott y Hutton, 1988).

1. C. Odriozola, 2004. *Calibración del Protocolo de datación por Luminiscencia, a través de cerámicas arqueológicas de Edad conocida (Memoria de estancia, C2RMF, Museo del Louvre)* (memoria inédita).

V. CONTEXTO Y SIGNIFICADO

La periodización tradicional define las fases cronológicas en base a la cultura material; así, la aparición, desaparición o transformación de la cultura material, particularmente de los tipos cerámicos y los tipos de sepulturas sirven para medir el ritmo de cambio en la Prehistoria. Tradicionalmente la cerámica campaniforme y los modos de enterramiento individual han servido como "fósil guía" para medir el ritmo de cambio en la Edad del Cobre e identificar un periodo convulso donde las estructuras sociales cambian profundamente para acabar dando paso a las comunidades de la Edad del Bronce, de ahí la importancia de datar el campaniforme y las tumbas de La Pijotilla.

Las últimas investigaciones indican que la principal ocupación demográfica de la Cuenca Media del Guadiana, en especial en la comarca de Tierra de Barros se produjo entre fines del IV y principios del III milenio ANE. Entre estos primeros poblados cabe destacar a La Pijotilla (80 Ha) y San Blas (30-60 Ha). La fecha más antigua para La Pijotilla se ha obtenido mediante C14-AMS en la de la base de la estructura E4 (tabla 1), que corresponde a un enorme un silo de almacenamiento que posteriormente fue utilizado con otras funciones (Hurtado, 1999).

La principal secuencia cronológica del yacimiento de La Pijotilla se basa en las fechas absolutas obtenidas a partir de la estratigrafía de esta estructura E4, una de las más potentes del yacimiento, además de la sepultura T3. De la estructura E4 se han obtenido fechas radiocarbónicas de la base o nivel de uso de la estructura como silo o lugar de almacenamiento, de un nivel intermedio de colmatación, que se corresponde con un nivel de abandono y reutilización de la estructura como basurero, del nivel final de basurero, y finalmente de la utilización como cabaña construida sobre la estructura de almacenamiento. En ningún nivel de la estratigrafía fechada se encontró cerámica campaniforme, el único fragmento se halló en el nivel de abandono situado encima de la cabaña (Hurtado, 2005) y en el que no se recuperó materia orgánica para datar mediante C14. En lo referente a la necrópolis, la única datación obtenida hasta ahora procede de la UE 15 de la sepultura T3 (tabla 2, Fig. 5).

Muestra	UE	Edad BP	CAL 1σ (ANE)*	Área relativa*
Beta-121146	E4 Base	4360±50	3077-3075	0,013004
			3023-2909	**0,986996**
Beta-121143	T3 UE 15	4130±40	2861-2828	0,200505
			2824-2807	0,095467
			2757-2718	0,227573
			2706-2625	0,476454
Beta-121147	E4 Intermedio	4110±40	2854-2812	0,253324
			2746-2725	0,110314
			2697-2618	0,497483
			2609-2597	0,066648
			2595-2582	0,072231
Beta-121145	E4 Abandono	4010±80	2836-2816	0,054758
			2670-2457	**0,906426**
			2418-2408	0,024014
			2375-2367	0,014802
BM-1603	Cabaña	3860±80	**2459-2280**	**0,877353**
			2250-2230	0,087333
			2219-2212	0,035315

*Stuiver y Reimer, 1993, Reimer *et al.* 2004

Tabla 1. Fechas de C14 obtenidas para La Pijotilla (Hurtado, 1999)

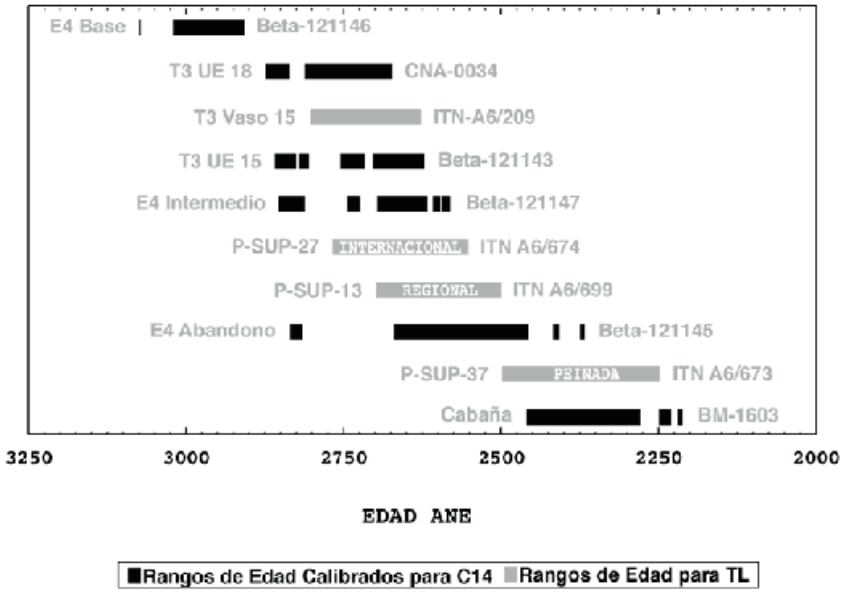


Figura 5. Fechas radiocarbónicas para el yacimiento de La Pijotilla calibrados a 1 sigma (Stuiver y Reimer, 1993; Reimer *et al.,* 2004) y fechas de TL.

Igual que sucede en el poblado, la cerámica campaniforme se utiliza en la necrópolis, junto a los diferentes tipos de sepulcros y ajuar, como identificador o delimitador de los distintos procesos culturales que se producen en este yacimiento durante el III milenio ANE. En el caso de los sepulcros encontramos además una clara asociación entre un tipo de ajuar —con o sin campaniforme— y un tipo de contenedor funerario. Los tres sepulcros encontrados hasta ahora en la necrópolis de La Pijotilla son completamente diferentes en cuanto a ajuar y ha sido la presencia/ausencia de cerámica campaniforme la que determinó en un principio su consideración cronológica (Hurtado, 2005:328). Así las tumbas T1 y T3, sin cerámica campaniforme, corresponderían a un momento anterior al periodo campaniforme (Hurtado, 2005:328).

Aunque en la tumba T1 no se han obtenido dataciones absolutas, el hecho de que una parte del corredor al aire libre corte al de la tumba T3 hace pensar que estratigráficamente T1 sea posterior a T3, pero también las diferencias en el tipo de ajuar podrían indicar lo contrario al tener T3 artefactos más ricos y evolucionados (Hurtado, 2005). Es el caso del puñal de cobre con escotaduras formando parte del ajuar de un enterramiento de los niveles superiores, o el de un puñal realizado en piedra verde hallado en el nivel base de la tumba y cuya forma con dos perforaciones para remaches recuerda prototipos metálicos de la Edad del Bronce.

VI. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Los resultados obtenidos para este trabajo se detallan en la tabla 2, donde pueden observarse los valores obtenidos para la Dosis Equivalente (E_D), su error, los contenidos en radioelementos (K, Th, U) y la edad calculada con su error según los parámetros de cálculo expuestos anteriormente, al igual que la fecha obtenida por C14-AMS calibrada a 1 sigma y el área relativa de cada intervalo.

Muestra	UE	Edad BP	E_D (s)	Error (s)	E_D (Gy)	Error (Gy)	Th ppm	U ppm	K %	Edad**	Error/ Á. Rel.
P-Sup-27	SUP		257	6	24,7	0,6	11,80	2,76	2,70	2665	107
P-Sup-37	SUP		229	8	22,0	0,8	6,17	2,05	1,48	2396	154
P-Sup-13	SUP		217	7	20,8	0,7	9,50	2,59	2,39	2601	100
Vaso 15	16		246	5	23,6	0,5	*	*	*	2716	96
CNA034	18	4168±55	-	-	-	-	-	-	-	2870-2839 2814-2676	0,213021 0,786979

*valores tabulados (Aitkien 1985). **Edad radiocarbónica cal. 1σ.

Tabla 2. Resultados obtenidos mediante TL y C14-AMS.

VII. DISCUSIÓN

En un nivel superior al de la cabaña E4 apareció un fragmento de cerámica campaniforme de estilo regional (Hurtado, 2005: 324). Si asumimos un momento puntual para la producción campaniforme, este fragmento debe ser coetáneo al campaniforme regional de superficie fechado por TL, y entonces resultaría más antiguo que la fecha radiocarbónica obtenida para la cabaña. Este hecho genera una contradicción, ya que la fecha radiocarbónica de la cabaña, obtenida en una posición estratigráfica inferior, resulta más moderna que el campaniforme que se encuentra en un estrato superior.

Esta contradicción se puede explicar de manera simplista si tenemos en cuenta que al tratarse de cerámicas descontextualizadas, estos fragmentos podrían haber sufrido procesos postdeposicionales, tales como haber sido removidos hasta la superficie por la acción del arado. O bien no tan simplista si tenemos en cuenta valoraciones interpretativas de manera que se consideren *a priori* los vasos campaniformes como un *"bien de prestigio",* lo que a larga le conferiría un carácter de *"reliquia"* y un periodo de vida prolongado, pudiendo transmitirse de generación en generación mientras que su función como estructurador social siga vigente.

En el caso del vaso 15 procedente de la T3 podemos apreciar cómo no existe una diferencia significativa de edad entre la unidad estratigráfica inmediatamente superior —datada por C14-AMS— y la fecha de producción del vaso. En la estratigrafía de la T3 no se advierten indicios de incendio, especialmente en el nivel inmediatamente superior o inferior al que contiene el vaso 15, por lo que podemos suponer que la fecha obtenida mediante luminiscencia para esta vasija cerámica corresponde al de su producción. Cabe pensar también que este vaso no es un vaso amortizado con un valor añadido de *"bien de prestigio"* como el señalado anteriormente para la cerámica campaniforme, sino que es posible que este recipiente hubiera sido producido *ex profeso* para el ritual funerario como ajuar de acompañamiento de alguno de los individuos inhumados en la sepultura.

Las diferencias entre las sepulturas T2 y T3 son evidentes en cuanto a ajuar y arquitectura, sin embargo las dataciones obtenidas en el vaso 15 de la T3 y el fragmento campaniforme internacional de superficie resultan coetáneas. Por asociación analógica también debería ser coetánea la producción de los vasos campaniformes internacionales recuperados en la T2.

Actualmente se coincide en asumir las producciones funerarias campaniformes, como realizadas *ex profeso* en base a la menor calidad de las pastas y la menor inversión de tiempo en el acabado de la producción (Boast, 1995; Salanova, 2000). Si asumimos esta tendencia que coincide con lo observado para

el vaso 15 de la T3, podríamos considerar que la T2 es coetánea de la producción campaniforme internacional y por tanto de la T3. Todas estas asociaciones y analogías unidas al espectacular ajuar de la T3 podrían hacer pensar que nos encontramos en un momento de cambio social que coincide con la adopción del campaniforme por parte de alguna facciones políticas (Brumfiel 1994) o actores socio-políticos produciéndose una competencia entre facciones: sustrato "local" *vs* campaniforme, que podría estar reflejándose en los modos de enterramiento observados en las sepulturas T3 y T2, o bien que obedecería a las distintas capacidades de prestigio que puedan alcanzar las diversas unidades parentales, como se esbozó para las tumbas T1 y T3 (García Sanjuán y Hurtado, 1997), lo que facilitaría la comprensión del proceso de evolución social hacia estructuras progresivamente más complejas.

A nivel general el hecho de que las dataciones obtenidas en los contextos campaniformes sean más modernas que las asignadas a las de producción de los vasos implicaría que los fragmentos campaniformes de Cerro de la Horca, Zambujal, Cabrerizas o Leceia pudieran ser sensiblemente más antiguos que los de La Pijotilla. Ello podría tener implicaciones a la hora de discutir las tan traídas y llevadas rutas de penetración del campaniforme en la Península Ibérica, bien por vía continental (Hurtado y Amores, 1982 y 1986; Hurtado, 2005; Alday 2001) o marítima (Salanova, 2000; Guilane *et al.,* 2004, Cardoso *et al.,* 2005).

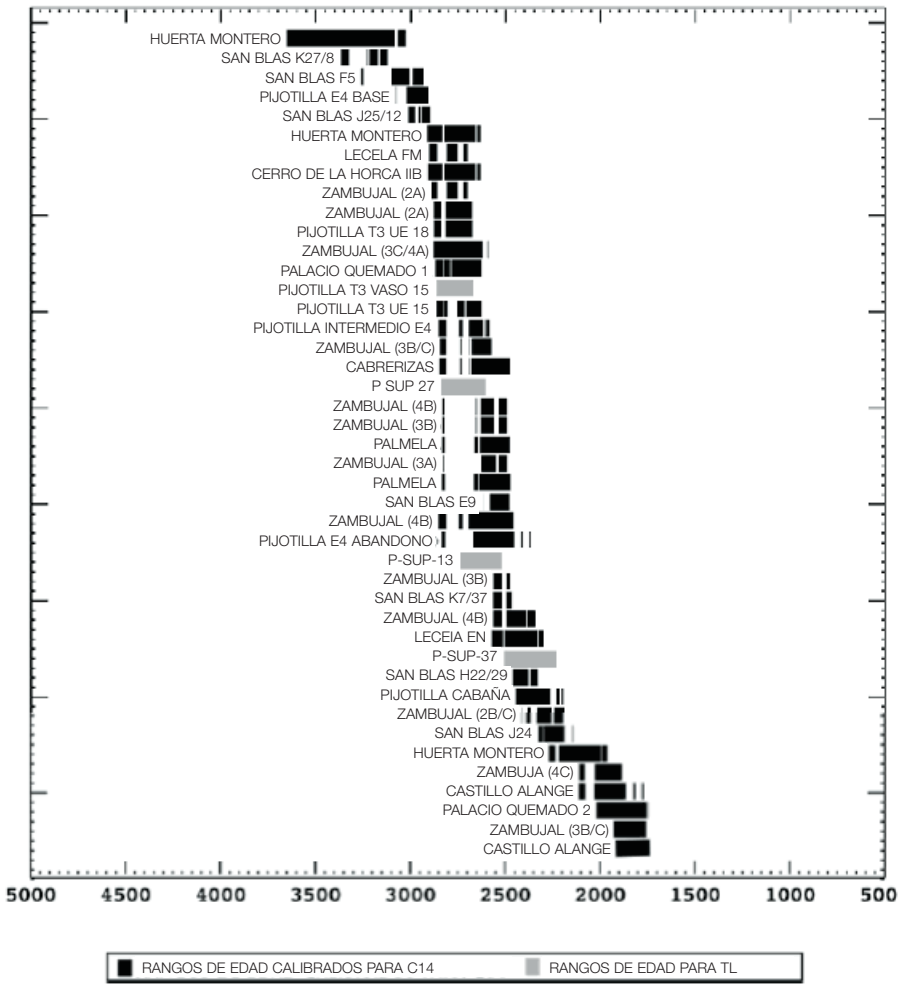


Figura 6. Fechas radiocarbónicas para contextos con cerámica campaniforme calibrados a 1 sigma (Stuiver y Reimer, 1993; Reimer *et al.,* 2004) desde el Estuario del Tajo a la Cuenca Media del Guadiana (datos para Zambujal, Leceia y Palmela, Vander Linden 2006: *Annexe).* Huerta Montero, San Blas, La Pijotilla, Palacio Quemado, Castillo de Alange contextos sin campaniforme a excepción de San Blas H22/29 y Palacio Quemado (2) que son contextos con campaniforme). Y fechas de TL para La Pijotilla.

VIII. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la dataciones obtenidas en La Pijotilla se podrían extraer las siguientes valoraciones:

- La cerámica datada por TL se encuadra dentro de las más antiguas obtenidas por C14 para los principales yacimientos de la Edad del Cobre que ocupan la franja que va desde el estuario del Tajo hasta la Cuenca Media del Gaudiana; así, en la Fig. 6 podemos apreciar cómo los niveles con cerámica campaniforme de el Cerro de la Horca, Zambujal, Cabrerizas o Leceia tienen fechas similares al campaniforme de La Pijotilla para contextos campaniformes, aunque no sucede los mismo con las de yacimientos que se encuentran más próximos a La Pijotilla, como pueden ser las obtenidas en contextos campaniformes de San Blas (H22/29) o Palacio Quemado (2).

- Parece evidente que las producciones campaniformes del Estuario del Tajo o de Cáceres son más antiguas en relación a las de la Comarca de Tierra de Barros, si asumimos que su producción es anterior a su deposición. Podría suponerse que el río Tajo fue un eje de comunicación más dinámico y temprano que el Guadiana, lo que sumado a las características geográficas de la Comarca de Tierra de Barros, cerrada al exterior y organizada socio-políticamente, podría haber provocado una adopción ligeramente más tardía del campaniforme en esta región, y que la dinámica podría haber sido una penetración por el río Tajo hacía su desembocadura (Este-Oeste) procedente del Norte vía terrestre como propusieran V. Hurtado y F. Amores (1982 y 1986) para otros ítems como son las pastillas repujadas y el campaniforme CZM *"Corded Zone Maritime"* y que A. Alday (2001) ha confirmado para el campaniforme marítimo y mixto en base a esta ruta de penetración desde Francia por el País Vasco hasta el Estuario del Tajo.

- A nivel comarcal el campaniforme de La Pijotilla es el más antiguo, lo cual estaría relacionado *a priori* con la extensión, ubicación (en una arteria importante del Guadiana de penetración hacía la Comarca), y al poder de atracción de ítem de prestigio de este asentamiento, aunque habría que tener en cuenta que éstas proceden de contextos de deposición y no de producción.

- Para la necrópolis de La Pijotilla se confirma que la T3 tiene un periodo de vida relativamente corto como puede inferirse a través de las fechas obtenidas para la base, y los niveles principales de uso de la misma, pudiéndose llegar a proponer un uso coetáneo a la T2 en base a la fechas obtenidas para el complejo campaniforme del asentamiento.

- De la datación de la T3 por TL se puede esbozar que las producciones cerámicas que conforman este ajuar podrían haber sido realizadas *ex profeso* o que al menos no son producciones de carácter inalienable (Earle, 2004) o sagrado (Godelier, 1996) que hayan perdurado en el tiempo a sus productores, como sucede en el caso de la cerámica campaniforme recuperada en el poblado cuya cronología podría reforzar la idea de que estas producciones son *"bienes de prestigio"* en base al largo periodo de vida que en principio podría atribuírseles.

- Podemos establecer la sincronía entre el periodo campaniforme de La Pijotilla y el periodo principal de uso de la sepultura T3, a la par que una mayor antigüedad del campaniforme de estilo internacional frente al regional o inciso.

- Tenemos que recalcar el hecho de que la TL cómo técnica de datación absoluta es óptima para establecer cronogramas sobre todo en aquellos casos donde no se disponga de contextos datables, ya que la utilización de estilos cerámicos para secuenciar fases cronológicas no siempre resulta apropiada, y que el carácter de *"bien de prestigio"* puede dilatar su cronología respecto al momento de su producción.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por el Plan Nacional de Materiales Convocatoria I+D MAT 2005-000790 y por el programa de colaboración entre España y Portugal GRICES-CSIC 2005-PT0030. Agradecimiento a programa de formación y especialización de personal investigador del CSIC por la concesión de una predoctoral I3P.

BIBLIOGRAFÍA

AITKEN, M.J. 1995: *Thermoluminescence dating.* Academic Press. Londres.

ALDAY, A. 2001: "Vías de intercambio y promoción del campaniformes marítimo y mixto sobre el interior peninsular". *Cuadernos de Arqueología Alavesa* 9: 111-174.

BOAST, R. 1995: "Fine pots. pure pots, beaker pots". En I. Kinnes y G. Varndell (eds.). *Unbaked urns of rudely shape. Essays on British pottery.* Oxbow Monographs 55. Oxbowbooks. Oxford.

CARDOSO, J.; QUERRE, G; SALANOVA, L. 2005: "Bell beaker relationship along the atlantique coast". En M.I. Prudencio, M.I. Dias, y J. Warenbourgh (Eds.). *Understanding peopple through their pottery. Procedings of thr 7th European Meeting on Ancient Ceramics (EMAC'03). Trabalhos de Arqueologia* 42: 27–32.

CASTAIGN, J.; GIROD, M.; ZINK, A. 2004: "Radiation background due to radioactivity in palaces and museums: influence on TL/OSL dating" *Journal of Cultural Heritage* 5 (4): 393-397.

DIAS, M.I. & PRUDÊNCIO, M.I. 2007: "Neutron activation analysis of archaeological materials: an overview of the ITN NAA Laboratory, Portugal". *Archaeometry,* 49 (2): 381-391.

EARLE, T. 2004: "Culture matters: Why symbolic objects change". En E. DeMarrais. C. Gosden y C. Renfrew (Eds.). *Rethinking Materiality, the engagement of mind with the material World, McDonald Institute for Archaeological Research.* University of Cambridge. Cambridge: 153-166.

ENRÍQUEZ NAVASCUÉS, J.J. 1990: *El Calcolítico o la Edad del Cobre de la Cuenca extremeña del Guadiana: Los poblados.* Museo Arqueológico Provincial de Badajoz. Badajoz.

GARCÍA SANJUÁN, L.; HURTADO PÉREZ, V., 1997: "Los inicios de la jerarquización social en el Suroeste de la Península Ibérica (c.2500-1700 ane). Problemas conceptuales empíricos". Homenaje a la doctora Gil Mascarell, *Saguntum,* 30: 135-152.

GODELIER, M. 1996: *L'enigme du don.* Fayard. Paris.

GUILAINE, J.; BESSE, M.; LEMERCIER, O.; SALANOVA, L.; STRAHM, C.; VANDER LINDEN, M. 2004: "Avant-propos: les campaniformes aujourd'hui". *Bulletin de la Societe Prehistorique Francaise* 101 (2): 197–200.

HARRISON, R. 1977: T*he Bell beaker cultures of Spain and Portugal. American School of Prehistoric Research, Bulletin 35.* Peabody Museum. Hardvard University.

HURTADO PÉREZ, V. 1986: "El calcolítico en la cuenca media del Guadiana y la necrópolis de La Pijotilla". En *Actas de la Mesa Redonda sobre Megalitismo peninsular (Madrid, 1984):* 51–75. Asociación de Amigos de la Arqueología. Madrid.

HURTADO PÉREZ, V. 1990: “Informe sobre las campañas de excavaciones en La Pijotilla (Badajoz)”. *Extremadura Arqueológica* I: 35–54.

HURTADO PÉREZ, V. 1991: “Informe de las excavaciones de urgencia en La Pijotilla. Campaña de 1990.” *Extremadura Arqueológica* II: 45–67.

HURTADO PÉREZ, V. 1995: “Interpretación sobre la dinámica cultural en la cuenca media del guadiana (IV-II milenios ANE)”. *Extremadura Arqueológica* V: 53–80.

HURTADO PÉREZ, V. 1999: “Los inicios de la complejizacion social y el campaniforme en Extremadura”. *SPAL,* 8: 47–83.

HURTADO PÉREZ, V. 2004a: “El asentamiento fortificado de San Blas (Cheles, Badajoz). III milenio AC”. *Trabajos de Prehistoria* 61 (1): 141–155.

HURTADO PEREZ, V. 2004b: “San Blas. The discovery of a large chalcolithic settlement by the Guadiana river”. *Journal of Iberian Archaeology* 6: 93–116.

HURTADO PEREZ, V. 2005: “El Campaniforme en Extremadura. Valoración del proceso de cambio socio-económico en las cuencas medias del Tajo y Guadiana”. M.A. Rojo Guerra, R. Garrido Pena y I. Garcia Martinez de Lagran (Coords.). *El Campaniforme en la Península Ibérica y su contexto europeo/Bell beakers in the Iberian Peninsula and their eurpean context.* Universidad de Valladolidlid. Valladolid: 321–335.

HURTADO, V.; AMORES, F. 1982: “Relaciones culturales entre el sudeste francés y La Pijotilla (Badajoz) en el Calcolítico: las pastillas repujadas y el campaniforme cordado”. *Habis* 13: 189-209.

HURTADO, V.; AMORES, F. 1985: “Estudio de relaciones culturales a través de fósiles directores en La Pijotilla (Badajoz)”. *Actas de las II Jornadas de la Metodología y didáctica de la Historía. Universidad de Extremadura.* Cáceres: 169-193.

HURTADO PÉREZ, V.; MONDEJAR, P.; PECERO, J. 2000: “Excavaciones en la tumba 3 de La Pijotilla”. *Extremadura Arqueológica* VIII: 251–268.

PRESCOTT J.R.; HUTTON J.T. 1988: “Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR”. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 14: 223-227.

REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BERTRAND, C.; BLACKWELL, P.G.; BUCK, C.E.; BURR, G.; CUTLER, K.B.; DAMON, P.E.; EDWARDS, R.L.; FAIRBANKS, R.G.; FRIEDRICH, M.; GUILDERSON, T.P.; HUGHEN, K.A.; KROMER, B.; MCCORMAC, F.G.; MANNING, S.; BRONK RAMSEY, C.; REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J.; WEYHENMEYER, C.E. 2004: “IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal Kyr BP”. *Radiocarbon* 46: 1029-1058

RENFREW, C. 2004: “Towards a theory of material engagement”. en E. DeMarrais, C. Gosden y C. Renfrew (Eds.). *Rethinking Materiality, the engagement of mind with the material World, McDonald Institute for Archaeological Research.* University of Cambridge. Cambridge: 23-31.

RICHTER, D.; ZINK, A.J.C.; PRZEGIETKA, K.R.; GOUVEI, M.A.; PRUDÊNCIO. M.I. 2003: “Source calibration and blind test results from the new luminescence dating laboratory at the instituto tecnologico e Nuclear, Sacavém”. *Portugal. Ancient TL* 21: 43-48

SALANOVA, L. 1998: “Le statut des assemblages campaniformes en contexte funeraire: la notion de «bien de prestige»”. *Bulletin de la Societe Prehistorique Francaise* 95 (3): 315–326.

SALANOVA, L. 2000: *La question du campaniforme en France et dans les Iles Anglo-Normandes. Productions, chronologie et roles d’un standard ceramique.* CHTS: Societe prehistorique francaise. Paris.

STUIVER, M.; REIMER, P.J. 1993: “Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C Age calibration program Radiocarbon”. *Radiocarbon* 35: 215-230.

VANDER LINDEN, M. 2006: *Le phénomène campaniforme dans l’Europe du 3ème millénaire avant notre ère: synthèse et nouvelles perspectives.* BARS1470. Archaeopress. Oxford.

DATACIONES RADIOCARBÓNICAS DE LAS NECRÓPOLIS DE LA EDAD DE BRONCE, SE-K, SE-B Y JARDÍN DE ALÁ (TÉRMINOS MUNICIPALES DE SALTERAS Y GERENA, SEVILLA)

RADIOCARBON DATING OF THE BRONZE AGE NECROPOLIS OF SE-K, SE-B AND JARDÍN DE ALÁ (MUNICIPALITIES OF SALTERAS AND GARENA, SEVILLA)

MARK A. HUNT ORTIZ, JACOBO VÁZQUEZ PAZ, DANIEL GARCÍA RIVERO, JUAN C. PECERO ESPÍN

Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla. c/ María de Padilla, s/n. 41004 Sevilla.
mhunt@us.es

RESUMEN

Recientemente se han llevado a cabo intervenciones arqueológicas preventivas en tres yacimientos situados en el área del Campo de Tejada, denominados SE-B, SE-K, y Jardín de Alá. En los tres, situados próximos entre sí en los términos de Salteras y Gerena, provincia de Sevilla, se han documentado enterramientos que, en general, corresponden a la Edad de Bronce, aunque presentando diversidad en la tipología y ritual funerario. En esta comunicación se presentan los resultados de 7 dataciones radiocarbónicas (AMS) obtenidas a partir de muestras, todas ellas de carácter antropológico, de contextos arqueológicos precisos de cada uno de los tres yacimientos.

ABSTRACT

Rescue archaeological interventions have been recently carried out in three sites, named SE-K, SE-B and Jardín de Alá, in the Campo de Tejada area. In all of them, located next to each other in the municipalities of Salteras and Gerena (province of Sevilla -SW Spain-), graves have been documented, corresponding, in general, to the Bronze Age, although presenting typological and ritual differences. In this paper the results of 7 radiocarbon (AMS) datings are presented, obtained from samples of anthropological character from precise archaeological contexts from the mentioned sites.

Palabras clave: Edad de Bronce, necrópolis, inhumaciones, dataciones ^{14}C, provincia de Sevilla.

Key words: *Bronze Age, cemetery, inhumations, ^{14}C dating, Sevilla province -SW Spain.*

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del año 2006 se llevaron a cabo dos intervenciones arqueológicas de carácter preventivo en los términos municipales de Salteras y Gerena (provincia de Sevilla), cercanas entre sí, Jardín de Alá y Coto Minero Las Cruces[1], que permitieron la documentación de tres yacimientos de carácter funerario que, tanto por la tipología de algunas de las estructuras funerarias y el ajuar asociado, fueron datadas de forma general en la Edad de Bronce. La proximidad entre sí de los lugares de enterramiento, la diversidad de la tipología funeraria frente a la relativa uniformidad tipológica de los ajuares y la presencia tanto de tumbas de inhumaciones individuales como de hasta tres individuos, hizo considerar la necesidad de obtener una serie de dataciones absolutas que permitieran una mayor precisión cronológica tanto de los yacimientos como, en su caso, de una posible estratigrafía horizontal.

II. CONTEXTO ARQUEOLÓGICO Y MUESTRAS SELECCIONADAS

Los tres yacimientos se encuentran situados próximos al cauce actual de la Rivera de Huelva, en el denominado Campo de Tejada, que limita al Sur con el escarpe Norte del Aljarafe y al Norte con las estribaciones de Sierra Morena. El terreno está, geológicamente, formado por margas arcillosas cubiertas por suelo vegetal poco desarrollado.

Topográficamente presenta una orografía suave, con colinas de escasa pendiente, atravesadas por los afluentes que desde la sierra vierten sus aguas en la margen derecha del río Guadalquivir, que se encuentra actualmente unos kilómetros al Este.

En la intervención arqueológica llevada a cabo en el Coto Minero Las Cruces, se excavaron los yacimientos denominados SE-B (en el límite entre los términos de Gerena y Salteras) y SE-K (Salteras), con características arqueológicas coincidentes y tan próximos entre sí que se consideró que podrían haber pertenecido a una misma área funeraria zonificada (Fig. 1).

El **yacimiento SE-B** está situado en una loma en la margen derecha del Arroyo Molino. En él se documentaron 12 enterramientos de inhumación con asociación de ajuares de carácter cerámico, metálico y malacológico. Dos de las inhumaciones presentaban estructura de cista (T-2B y T-7B), tres se disponían en fosas con cubierta de piedra (T-4B, T-6B y T-11B) y siete se documentaron en fosa sin cubierta conservada (T-1B, T-3B, T-5B, T-8B, T-9B, T-10B y T-12B)[2].

Las muestras sometidas a datación radiocarbónica se obtuvieron de las inhumaciones de las tumbas T-2B, T-4B y T-12B, concretamente se extrajeron, una vez realizado el estudio antropológico, dos premolares de cada una de ellas (Tabla 1).

La T-2B correspondía a una estructura de cista (1.08x0.9x0.6 m.) formada por siete lajas de pizarra, con la cubierta formada por otras tres lajas de pizarra, de las que la central estaba hundida hacia el interior de espacio de enterramiento. La fosa de excavación de la T-2B se encontraba revestida de arcilla verdosa con cal englobando a las paredes de la cista y los laterales de las lajas de cubierta.

---

1. La intervención arqueológica Jardín de Alá (Salteras) fue financiada por la empresa Construcciones Azagra, S.A. La actuación arqueológica en el Coto Minero Las Cruces (Salteras y Gerena) fue financiada por la empresa minera Cobre Las Cruces, S.A.

2. Los estudios de Antropología Física llevados a cabo acerca de la descomposición de los cuerpos y los desplazamientos óseos dentro de la estructura funeraria determinaron que el ambiente era inicialmente aeróbico habiéndose producido por tanto una pérdida de las cubiertas. En el caso de los enterramientos T-8B y T-9B los restos osteológicos se documentaron bajo una capa de fragmentos cerámicos.

Figura 1. Situación y localización de los yacimientos SE-B, SE-K y Jardín de Alá.

IDENTIFICAC.		DIAGNÓSTICOS BÁSICOS		
YACIM.	R.O.H	SEXO	EDAD (AÑOS)	TALLA
SE-B	T-2B	F	30-46	1,52
SE-B	T-4B	F	28-39	1,51
SE-B	T-12B	Alófiso	30-35	1,61
SE-K	T-7	M	>60	1,74
SE-K	T-23a	F	18-22	1,62
SE-K	T-23b	F	33-45	1,60
SE-K	T-23c	F	30-45	1,55
SE-K	T-25	F	18-22	1,55
J. A.	E. IV	F	Adulto	--

Tabla 1. Relación de inhumaciones datadas.

La inhumación, hiperflexionada en decúbito lateral derecho y parcialmente alterada, perteneciente a un adulto femenino, contenía como ajuar funerario una concha del tipo *Pectem maximus L.* ("vieira") (Fig. 2).

La T-4B consistía en una fosa (1.6x1.4x0.8 m.), recubierta de arcilla verdosa con grumos de cal, con cubrición de bloques de piedras areniscas. La inhumación asociada, hiperflexionada en decúbito lateral derecho, correspondía a un individuo femenino adulto con un ajuar funerario consistente en un cuenco cerámico y una "punta" metálica de base cobre (Fig. 2).

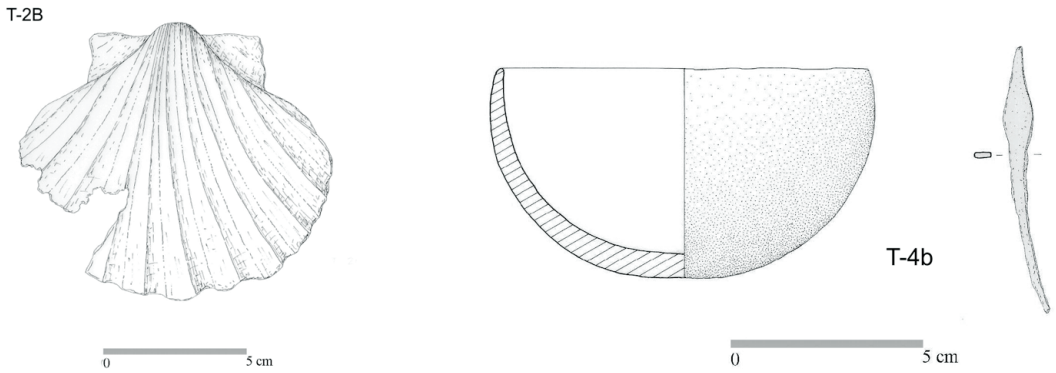


Figura 2. Ajuares funerarios de la T-2B y la T-4B.

Este elemento metálico parece corresponderse con la tipología característica de los punzones de tipo "brújula", típicos del Bronce Antiguo del Sur de Francia y que en la Península Ibérica son relativamente frecuentes en el NE y el Valle del Ebro (Rodríguez de la Esperanza, 2005).

Aunque se conoce algún ejemplar procedente de la provincia de Salamanca (López y Martínez, 2006) y de la de Cáceres[3], en el Sur de la Península Ibérica este tipo, del que se han excavado dos ejemplares en estas necrópolis, no había sido documentado con anterioridad.

La tumba T-12B se presentó como una fosa de forma circular, sin cubierta conservada (aunque, por los movimientos postmortem de desarticulación generados por una descomposición en un medio aerobio, originariamente si la tendría), recubierta de arcilla verdosa y cal. La inhumación documentada en el fondo de la fosa, hiperflexionada en decúbito lateral izquierdo, correspondía a un alófiso adulto.

El **yacimiento SE-K**, en término municipal de Salteras, se localizó muy próximo y al Sur del SE-B, también en la margen derecha del Arroyo Molino (Fig. 1). La intervención en esta zona permitió la excavación de 26 unidades de enterramiento, con un número mínimo de 39 individuos y con asociación en determinados casos de ajuares cerámicos, metálicos y malacológicos. Los tipos de tumbas correspondían tanto a cistas como a fosas con cubierta de piedra y fosas sin cubierta conservada[4]. En esta necrópolis se registraron unidades de enterramiento con más de un individuo, interpretándose en unos casos como enterramientos simultáneos en posición primaria y en otros como secundarios.

3. Dr. Ignacio Montero, comunicación personal. Agradecemos al Dr. Montero sus indicaciones respecto a la tipología de este elemento metálico.

4. Al igual que se ha mencionado en el caso de SE-B, el estudio antropológico físico llevado a cabo sobre la descomposición de los cuerpos y los desplazamientos óseos dentro de las estructuras funerarias determinaron que el ambiente era inicialmente aeróbico, habiéndose producido, por tanto, la pérdida de las cubiertas en momentos posteriores.

De esta necrópolis se extrajeron muestras para su datación radiocarbónica de las tumbas denominadas T-7, T-23b y T-25 (Tabla 1), también dos premolares de cada una de las inhumaciones (Tabla 1).

La tumba T-7 consistía en una estructura de cista (1.4x1.1x0.8 m.) compuesta por seis lajas verticales de pizarra que formaban las paredes N. y S., quedando los otros dos laterales formados por la pared de la fosa de excavación del enterramiento, que se encontraba recubierta de una capa de arcilla verdosa con abundantes nódulos de cal; 4 lajas de pizarra, desplomadas, formaban la cubierta. La inhumación correspondía a un individuo masculino de más de 60 años, hiperflexionado en decúbito lateral izquierdo, con un ajuar consistente en un recipiente cerámico de tipo "botella" (Figs. 3 y 4).

La unidad de enterramiento T-23 consistía en una fosa de forma circular (1.45x1.4x0.27 m.), sin cubierta conservada, en la que estaban depositados tres individuos femeninos (T-23a, 23b y 23c) flexionados y en decúbito lateral derecho. Según la interpretación antropológica física, estas deposiciones se habrían realizado de forma simultánea, seleccionándose para su datación absoluta la inhumación 23b, situado en posición central y con un ajuar asociado consistente en un cuenco cerámico (Figs. 3 y 5) y una concha tipo *Pectem maximus L.,* similar a la de la T-25.

La tumba T-25 (1.6x0.69x0.71 m.) correspondía a un enterramiento en cista, con las paredes formadas por once lajas de pizarra, cubierta por cuatro lajas de pizarra. También presentaba asociada arcilla verdosa con manchas de cal. La inhumación, un adulto-joven femenino hiperflexionada en decúbito lateral derecho, contenía un ajuar consistente en un "punzón" de base cobre y una concha tipo *Pectem maximus L.* (Fig. 3).

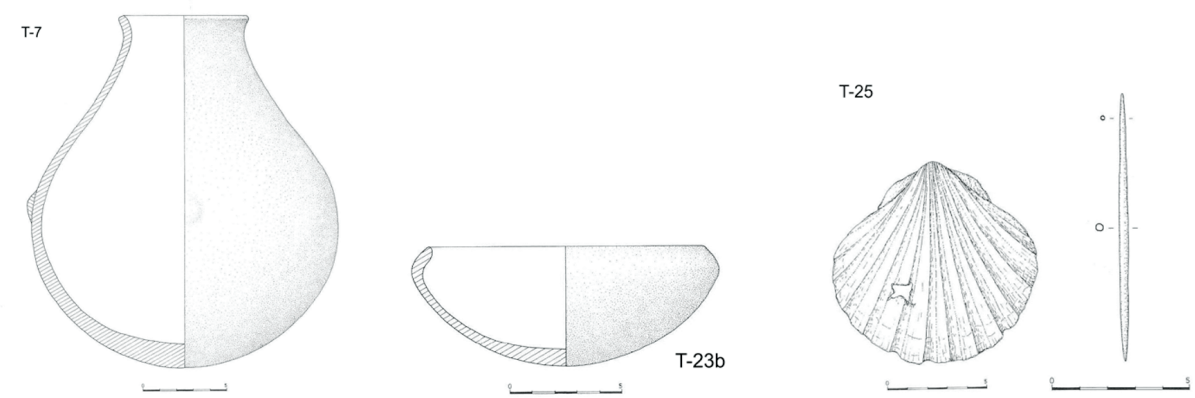


Figura 3. Ajuares funerarios de las T-7, T-23b y T-25.

Figura 4. Inhumación T-7.

Figura 5. T-23. Inhumaciones 23a,23b y 23c.

El yacimiento **Jardín de Alá**, en el término municipal de Salteras, se sitúa (Fig. 1) en una zona llana muy próxima al arroyo Pié del Palo, que lo separa del término de Santiponce. La excavación documentó una secuencia arqueológica consistente en un cementerio de época islámica, "fondos de cabaña" del Hierro I inicial y una única estructura funeraria aislada, denominada Estructura IV, que se dató tipológicamente en la Edad de Bronce.

Esta tumba consistía en una fosa de tendencia circular excavada en la marga, con una cubierta de lajas de pizarra. En su fondo contenía una inhumación en posición hiperflexionada, correspondiente a un adulto femenino. El ajuar asociado consistió en un "punzón" metálico (similar al excavado en la T-25 del SE-B). También en este caso, la muestra para la datación radiocarbónica se obtuvo mediante la extracción de dos premolares (Tabla 1).

Figura 6. Cubierta de la Estructura IV.

III. TÉCNICA ANALÍTICA Y RESULTADOS

Todas las muestras fueron analizadas mediante AMS a partir de la extracción del colágeno de las muestras de dentición procedentes de las distintas inhumaciones, ofreciendo una cantidad suficiente para la obtención de medidas precisas, desarrollándose con normalidad el procedimiento analítico según el protocolo establecido por el Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory (Florida, U.S.A.) , donde fueron analizados (www.betalabservices.com).

Las dataciones, en general, han mostrado un alto grado de fiabilidad, tratándose de muestras muy bien contextualizadas de los propios individuos inhumados y cuya desviación estándar es sólo de 40/50 años en todos los casos (Tabla 2).

Los gráficos de las distribuciones y rangos de las fechas calibradas en años de calendario de estas dataciones (Tablas 3 y 4) muestran cómo la serie abarca un periodo comprendido entre fines del III milenio y fines del primer cuarto del II milenio a.C. en fechas calibradas (cal ANE).

IDENTIF. MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	SITIO	CONTEXTO	Nº Y GÉNERO	FECHA CONVENCIONAL	CALIBRACIÓN 1 σ	CALIBRACIÓN 2 σ
Beta-225413	Colágeno dientes	SE-B	Tumba 12B Fosa	1 alófiso	3720±40 BP	2190-2040 BC	2260-2020 BC
Beta-225412	Colágeno dientes	SE-B	Tumba 4B Fosa	1 femenino	3660±40 BP	2130-1970 BC	2140-1930 BC
Beta-225411	Colágeno dientes	SE-B	Tumba 2B Cista	1 femenino	3640±50 BP	2120-1940 BC	2140-1890 BC
Beta-225416	Colágeno dientes	SE-K	Tumba 23b Fosa	3 femeninos	3570±50 BP	1970-1880 BC	2030-1760 BC
Beta-225410	Colágeno dientes	JA	Estructura IV Fosa	1 femenino	3520±40 BP	1900-1770 BC	1950-1740 BC
Beta-225415	Colágeno dientes	SE-K	Tumba 7 Cista	1 masculino	3500±40 BP	1890-1750 BC	1930-1740 BC
Beta-225417	Colágeno dientes	SE-K	Tumba 25 Cista	1 femenino	3460±40 BP	1870-1740 BC	1890-1680 BC

Tabla 2. Resultados de las dataciones radiocarbónicas ordenadas cronológicamente.

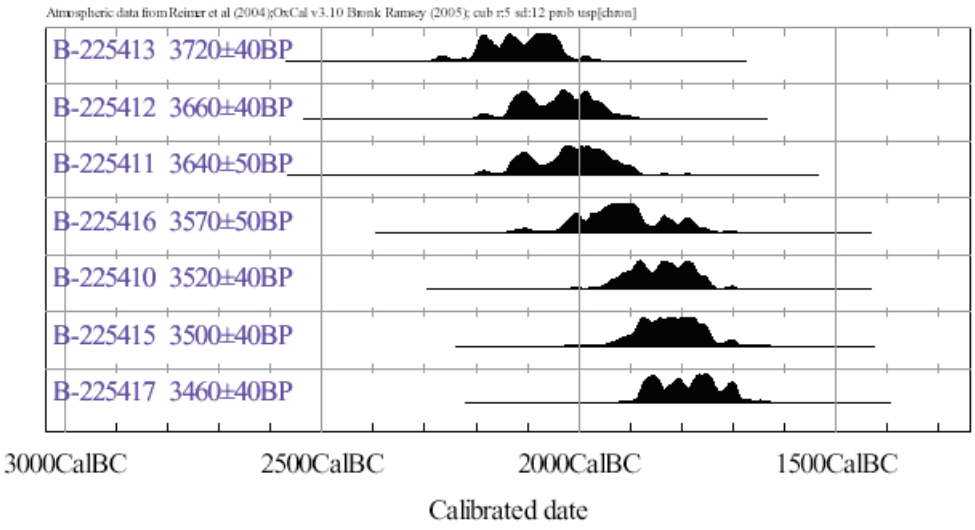


Tabla 3. Distribuciones de las fechas calibradas en años de calendario *(progr. Oxcal 3.1)*.

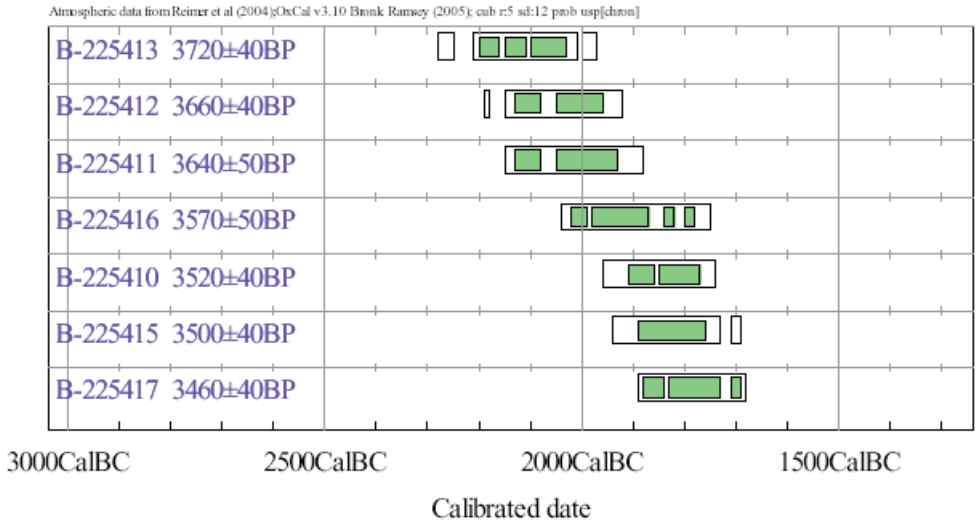


Tabla 4. Rangos de las fechas calibradas en años de calendario *(progr. Oxcal 3.1).*

IV. CONSIDERACIONES GENERALES

Como ha sido señalado recientemente (Escacena, 2007:17), son muy escasos los yacimientos de la Edad de Bronce conocidos, tanto de carácter habitacional como de carácter funerario, en el área correspondiente al paleoestuario del Guadalquivir. Los resultados de las tres intervenciones descritas vienen a ampliar notablemente el conocimiento de ese periodo en la zona, aunque fundamentalmente a través del registro funerario, aportando una cronología precisa para la investigación e interpretación de los propios yacimientos así como para su inserción en marcos culturales más amplios, con datos cronológicos disponibles (Castro *et al.,* 1996; Mederos, 1998; Hurtado y García, e.p.).

Esta nueva aportación es posible gracias a la incorporación de la técnica AMS (Accelerator Mass Spectrometry) al análisis de ^{14}C a partir de la década de 1970 (Mook y Waterbolk, 1985), que ha permitido la ampliación de las posibilidades de datación de material orgánico recuperado de excavaciones arqueológicas, como, en el presente caso, a partir del colágeno de la dentición humana. Esto abre la posibilidad de, en inhumaciones primarias, el establecimiento del momento de realización del depósito funerario y, también en este caso, de datación del registro funerario asociado.

En general las fechas absolutas obtenidas sitúan las necrópolis estudiadas entre los momentos finales del III milenio y el final del primer cuarto del II milenio cal ANE. Las tres dataciones más antiguas corresponden a la necrópolis SE-B, que se situaría cronológicamente en el entorno del cambio de milenio. La necrópolis SE-K sería inmediatamente posterior cronológicamente, por lo que se puede descartar la hipótesis contemplada de organización simultánea en zonas del área funeraria, como se sugirió para la próxima necrópolis de Chichina (Fernández Gómez *et al.,* 1976), y proponer una secuencia estratigráfica horizontal, que la tipología funeraria y del registro arqueológico asociado a las inhumaciones no permite deducir fácilmente.

Contemporánea al marco cronológico establecido para SE-K se enmarca la aislada Estructura IV de Jardín de Alá, lo que supone otro factor de variabilidad en los usos funerarios de ese momento, que también se evidencia en la coetánea inhumación excavada en Los Páramos, en la zona mineralizada de Aznalcóllar (Hunt, 2003), con dataciones absolutas aún sin publicar.

A nivel regional, cronológicamente, las necrópolis excavadas muestran coetaneidad de la SE-K con la necrópolis de cistas de la Traviesa (Almadén de la Plata, Sevilla) (García Sanjuán, 1998) y con la fase antigua del poblado de El Trastejón (Zufre, Huelva) (Hurtado Pérez y García Sanjuán (e.p.), mostrando los ajuares, especialmente los cerámicos, una cierta vinculación a las tradiciones de la Edad del Bronce de la Sierra Morena Occidental (Sierra de Huelva y Sevilla), suponiendo una de sus manifestaciones más orientales.

BIBLIOGRAFÍA

CASTRO MARTÍNEZ, P.; LULL SANTIAGO, V. y MICÓ PÉREZ, R. 1996: "Cronología de la Prehistoria Reciente de la Península Ibérica y Baleares (c. 2800-900 cal ANE)". *British Archaeological Reports. International Series 652.* Oxford.

ESCACENA, J.L. 2007: "Ilipa en el contexto de la Prehistoria Reciente y Protohistoria del Paleoestuario del Guadalquivir". En: FERRER, E., FERNÁNDEZ, A., ESCACENA, J.L., y RODRÍGUEZ, A. (Eds.). *Ilipa Antiqua, de la Prehistoria a Época Romana:* 13-28. Ayto. de Alcalá del Río.

FERNÁNDEZ GÓMEZ, F., RUIZ MATA, D. y DE SANCHA FERNÁNDEZ, S. 1976: "Los enterramientos en cistas del Cortijo de Chichina (Sanlúcar la Mayor, Sevilla)". *Trabajos de Prehistoria* 3: 351-386.

GARCÍA SANJUÁN, L. 1998: "La Traviesa. Análisis del registro funerario de una comunidad de la Edad del Bronce". En: GARCIA SANJUAN, L. (Ed.). *La Traviesa. Ritual Funerario y Jerarquización Social en una Comunidad de la Edad del Bronce de Sierra Morena Occidental:* 101-190. Universidad de Sevilla.

HUNT ORTIZ, M.A. 2003: "La zone minière d'Aznalcóllar (Sevilla)". En: OREJAS, A. (Ed.). *Atlas Historique des Zones Minières d'Europe, II. Action COST G2,* International Organization. European Commision. Bruselas (Bélgica).

HURTADO PÉREZ, V. y GARCÍA SANJUÁN, L. (e.p.): "Las fechas radiocarbónicas de El Trastejón en el marco de la cronología absoluta de la Edad del Bronce en el Sur de la Península Ibérica". En: HURTADO, V. (Coord.) *El Asentamiento de El Trastejón (Huelva). Investigaciones en el Marco de los Procesos Sociales y Culturales de la Edad del Bronce en el Sur de la Península Ibérica.* Junta de Andalucía.

LÓPEZ JIMÉNEZ, O. y MARTÍNEZ CALVO, V. 2006: "El Proyecto Zona Arqueológica del Cerro De El Berrueco". *ArqueoWeb* 8 (1), Abril. http://www.ucm.es/info/arqueoweb/numero8_1/conjunto8_1.htm.

MEDEROS MARTIN, A. 1998: "La cronología absoluta de Andalucía Occidental durante la Prehistoria Reciente (6100-850 A.C.)". *Spal. Revista de Prehistoria y Arqueología* 5: 45-86.

MOOK, W.G. y WATERBOLK, H.T. 1985: *Radiocarbon Dating.* European Science Foundation.

RODRÍGUEZ DE LA ESPERANZA, M.J. 2005: "Metalurgia y metalúrgicos en el Valle del Ebro (c. 2900-1500 cal. A.C.)". *Real Academia de la Historia, Institución Fernando el Católico. Madrid.* 1) (abril 2006).

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

ARCHAEOLOGICAL CERAMICS AND SCIENTIFIC PRACTICE

CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS Y PRÁCTICA CIENTÍFICA

RONALD L. BISHOP

Curator for Mexican and Central American Archaeology, Department of Anthropology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, P.O. Box 37012, Washington, DC 20013-7012, bishopr@si.edu

ABSTRACT

Developments in the natural and physical sciences have provided archaeologists with a vast range of instruments to obtain variably precise and accurate data from archaeological ceramics. This presentation considers the processes of data accumulation relative to the integration of that data into a systematized body of archaeological information better known as knowledge. Such systematization is recognized to be contextualized by theory, with differing perspectives ranging from the over-enthusiastic empiricism of the 1960s to the frequently data-starved creations of post-modernism. Regardless of theoretical perspectives, however, local conditions provide a particularistic quality to any interpretation and my examples are no exception. They are drawn mostly from Mesoamerica, with emphasis given to research in the Maya area. I continue to argue that if scarce analytical resources are to be used to advance archaeological understanding researchers must be willing to spend more time mining the finer levels of information from their datasets, even to the point of modelling variation rather than just reporting the more obvious, nomothetically-based patterns.

RESUMEN

El desarrollo de las ciencias físicas y naturales ha proporcionado a los arqueólogos una gran variedad de instrumentos para obtener datos con distinta precisión y exactitud en el análisis de cerámicas arqueológicas. Este trabajo se centra en el proceso de acumulación de datos en lo relativo a la integración de esos datos en un cuerpo sistematizado de información arqueológica al que comúnmente se llama conocimiento. Se asume que esta sistematización se contextualiza mediante la teoría, con perspectivas que difieren y que van desde el empirismo entusiasta de los años 60 del siglo pasado hasta las formulaciones a menudo escasas de datos del post-modernismo. Sin embargo, a pesar de las perspectivas teóricas, las condiciones locales proporcionan una cualidad específica a la interpretación y los ejemplos expuestos en este trabajo no son una excepción. Estos ejemplos proceden de Mesoamérica y especialmente de investigaciones en el área maya. En el trabajo se argumenta que si se van a utilizar recursos analíticos escasos para avanzar en la interpretación arqueológica, los investigadores deben estar dispuestos a dedicar más tiempo para extraer niveles más refinados de información de sus bases de datos, incluso hasta el punto de explicar la variación más que presentar sólo los patrones nomotéticos más obvios.

Key words: *Archaeological ceramics, Chemical composition, Theory, Mesoamerica, Maya area.*

Palabras clave: Cerámica arqueológica, Composición química, Teoría, Mesoamérica, Área maya.

Where is the wisdom that we have lost in knowledge?

Where is the knowledge that we have lost in information?

In his Choruses from the Rock (1934) American poet, dramatist and literary critic T. S. Eliot (1888-1965) poses the above questions (Southam, 2001). I have found them particularly applicable to contemporary archaeology. Archaeologists recover, often with great precision, the minutiae of the past, frequently submitting samples for sophisticated analytical analyses, only to produce highly generalized reports that discard the variation that they worked so had to recover. Ceramics, abundant at most American sites, is one material to receive this treatment as often can be seen in studies carried out under taxonomic "type-variety" approach favored by many Americanist archaeological practitioners (e.g., Smith, Willey and Gifford, 1960). The system relies upon the surface finish and decoration to provide broad spatial and chronological categories, in effect providing "pigeon holes" into which ceramics can be sorted and named. Far too much of what is reported in archaeology is presented with a superficial approach: stories are presented, occasionally "backed-up" with tables and graphs of condensed data. This is especially true when it comes to the presentation of chemical and petrographic data derived from the scientific study of archaeological ceramics. In part, this practice might be motivated by the authors' desire to get a quick publication following the appearance of the first stable association that was coaxed from a data set, thereby constituting an economic and political motivation. In other cases, more detailed reports may be axed by editors who recognize that the majority of a publication's readership wants only a concise summary (again, an economic factor). In fact, most analytical studies of archaeological materials do not translate well to low dimensional presentations.

My perspective on the treatment of archaeological ceramics is heavily biased toward an Americanist framework in which I work and an archaeological focus on cultural-historical processes in Mesoamerica —especially those that pertain to the Maya region within what is today southern Mexico, Guatemala, Belize and western Honduras. This spatial context has been broadened by three decades of research involving the application of physical science techniques to address archaeological issues, especially those involving the use in instrumental neutron activation analysis (INAA). The analytical data, hard won, provide an empirical, incremental base which can be used to build more robust models concerning social, economic or political relationships, and against which other, more traditional types of archaeological data can be compared. In combination, these combined data sets can be used to form an increasingly accurate view of the archaeological record thereby contributing to a more systematic knowledge of the past—if the time is taken to do so.

Compositional investigations of archaeological ceramics have become commonplace in North and Central America as well as many regions of the Old World. Pottery from the Maya region was among the first to be analyzed by INAA (Sayre, Murrenhoff and Weick, 1952). Early applications were largely methodological in nature through the late 60s (Beaudry, 1991). Beginning in the early 1970s extensive use of INAA began the accumulation of large, multielemental data sets that could be used to address more adequately archaeological questions of ceramic production and distribution (e.g., Blackman and Bishop, 2007; see articles in Speakman and Glascock, eds., 2007; among others). Some of the chemically-based studies were occasionally supplemented by information provided by petrography. Fine paste pottery, associated with events of the so-called "Maya Collapse", became a focus of attention (e.g., Sayre, Chan, and Sabloff, 1971) Compositional analysis of Maya pottery was carried out intensively, first at Brookhaven National Laboratory (Bishop and Rands, 1982) and since 1983 at the National Institute of Standards and Technology (NIST) nuclear research facilities as part of a Smithsonian —NIST partnership (Bishop, 2003). The fine paste research expanded to include more problem-oriented analysis focused on the great Late Classic Maya center of Palenque, located in the northwestern region of the Maya Lowlands, and later to questions of production and distribution of pottery throughout the Lowlands, as well as some regions of the Maya Highlands (Fig. 1).

Figure 1. Map of the Maya area. Sites shown are those represented by pottery analyzed in the present study.

Studies of ceramic manufacture and distribution relay on the fundamental notion that pottery from a given source, prepared according to common practices, will tend to be more similar than they will be to pottery produced from different resources or according to different practices. This not to imply that there necessarily is a vast net of similarity cast over all the pottery made in a workshop, site, or region. Somewhat surprisingly, given all of the natural and cultural sources of variation that can affect the composition of pottery, chemical analysis has demonstrated an ability to differentiate among ceramics produced at different sites in a given region: it is a matter of scale, raw resource variability, social complexity, analytical sensitivity, sampling adequacy, statistical modeling, and good luck, among other factors (Bishop, Rands and Holley, 1982; Neff, 2000; Bishop and Blackman, 2002).

In this paper I provide two examples of compositional research. The first, focused on questions of tomb pottery attribution from the southeast Maya region has been published in greater detail (Reents-Budet *et al.,* 2003). It is used here to illustrate a fairly common problem application of compositional analysis. The second example concerns part of our expanding understanding of the fine paste ceramic tradition in the northwestern Maya Lowlands. Although based on an unusually large data set, it demonstrates patterned variation below a differentiable cluster of chemically similar samples. Extensive details of this study are being readied for future publication; a recent overview can be found in Bishop (2003).

COPAN TOMB POTTERY: AN APPLICATION OF COMPOSITIONAL ANALYSIS

If we assume that the land occupied by the ancient Maya constitutes a “region,” then the study of pottery excavated in the Hunal and other Early Classic (ca. 300-600 AD) tombs at Copan, Honduras, provides an example of both regional and subregional chemical characterization. Special interest was directed to the 6th Century Hunal tomb, suggested to contain the remains of K’inach Yax K’uk Mo, possible founder of

the Copan Early Classic dynasty (see Bell *et al.,* 2003). Speculation regarding his origin includes: (a) he was from a local family; (b) he came from the Guatemalan highlands, likely Kaminaljuyú; (c) he was a member of a royal family from Tikal in the central Petén area; or (d) he came from outside of the Maya region, probably from the great Central Mexican center of Teotihuacán. And, while there need not be any correspondence between the sources of the pottery and the origin of the human remains in the tombs, it was felt that attribution of the pottery to their location of manufacture might provide some insights.

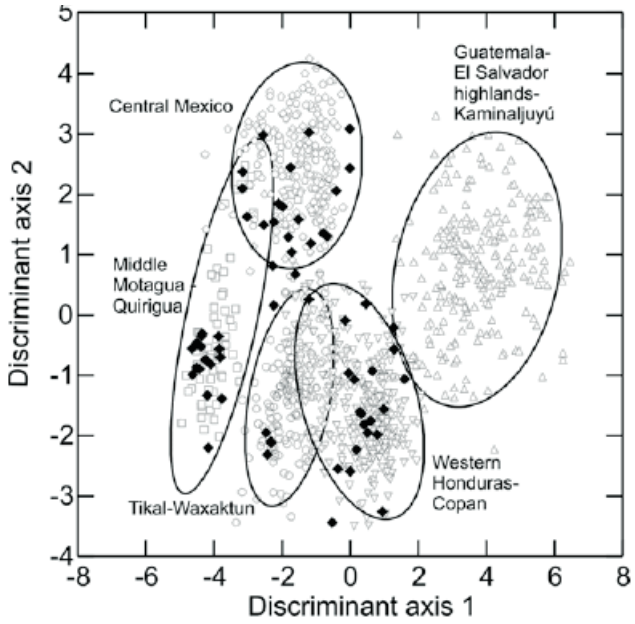


Figure 2. Plot of Copan Early Classic tomb pottery relative to a discriminant analysis of compositional groupings (details presented in Reents-Budet *et al.,* 2003).

The ceramics from the Early Classic tombs were analyzed by INAA following routine procedures (Blackman and Bishop 2007), permitting the compositional similarities among the tomb pottery to be inspected. What made the project possible, however, was that the tomb pottery could be compared to the extensive database of ceramic compositions, which included pottery from the source regions in question. Reference groups for the regions of interest were formed and refined statistically to the multivariate 90% confidence interval. Each tended to include several sites within a given subregon. The tomb pottery was evaluated as to probable group membership using the derived reference units. The multivariate attributions are illustrated in Figure 2, shown relative to the axes derived by a canonical discriminant analysis; elemental loadings on the axes are given in Table 1.

Considering all of the tomb ceramics, we find that virtually all the likely sources suggested were responsible for the some of the pottery (Table 2). The notable exception was that only one tomb vessel had a composition suggestive of manufacture in the Guatemalan-El Salvadorian highlands, tending, therefore to eliminate the site of Kaminaljuyú as a major supplier of the tomb pottery. Discussion of the attribution of other Early Classic tomb pottery recovered at Copan can be found in Reents-Budet *et al.,* 2003).

	Df 1	Df 2
Sc	0.121	0.319
Cr	-1.002	0.247
Fe	0.457	0.303
Rb	0.122	0.371
Sb	-0.266	-0.433
Cs	0.048	0.380
Ba	-0.110	-0.195
La	-0.037	0.256
Ce	-0.067	0.079
Eu	0.333	-0.003
Lu	-0.120	0.053
Hf	0.196	0.037
Ta	-0.204	-0.088
Th	-0.196	-0.535

Table 1. Canonical discriminant functions.

Western Honduras (Local; Copan)	12
Middle Motagua (Qurigua?)	2
Guatemala Highlands	1
Central Petén (Tikal-Waxaktun?)	3
Mexican Highlands	3
Indeterminate	3
N = 24	

Table 2. Attribution of Hunal Tomb pottery to compositional source.

COMPOSITIONAL GROUPS—BUT FOR WHAT?

What has just been presented is a typical example of chemical characterization that addresses an archaeological question involving relatively large distances in geographical and compositional space. In such situations, the reference groups found (or formed) may be fairly robust to errors of inclusion —depending on how you want to use them. The discussion of Copan's pottery and comparator sites has been stated as through the groups constructed are unambiguous referents. In fact, they are, and must be, a heuristic collective of patterned compositional variation, modeled for some utility in an investigation. Groups that are formed are dynamic, fusing, fissioning and shifting in properties as samples are added or subtracted. When groups are constituted with sufficient members, a robust estimate of their parameters may be obtained. Clearly, the "science" ends with the generation of the analytical data and the "art" of group formation, evaluation, and interpretation takes place, aided by various techniques of pattern recognition and multivariate statistics.

But what are these groups? What do they realistically represent? Given the opportunistic nature of limited sampling and frequent analytical resource limitations, the groups formed are most likely to be composite amalgamations of several "natural" sub-groups. Specific attribution to some geographic reality below the level of sub-region may not be possible, And, perhaps such attribution may not really be necessary for a given problem —but it might be.

For investigators working with compositional analysis it is important to resist from inferring more than what the working groups represent. Collections of clusters of similar pottery or subgroups from a given region may be found to be compositionally different from similarly assembled collections of another, even illustrated as being different at some statistical confidence interval, such as the unit formed for "Kaminaljuyú" in the tomb study described above. Whether or not the groups represent a specific reference, such as to workshop or site, or to just a geographic compositionally separable entity is an important concern. While the "group" might be shown to be somehow different from some other similarly formed unit, it may not be an appropriate basis for the attribution of comparator specimens (e.g., Copan tomb vessels). For example, if through the process of group formation one has combined smaller compositional areas of density with different underlying properties, then too much variation might be included. Such a unit may still be separate from other groups of interest, but not serve well when assessing

the likelihood that a comparator specimen is likely to be a member of that unit. At other times, however, sampling inadequacies, inherent natural and cultural variability, analytical error, etc., may limit specificity and utility for archaeological inference.

Rather forming a discrete "group", based on hard partitioning of the data matrix, and with specific social implications, such as representing a "site," it may be useful to use a somewhat different referent. One construct (again, admittedly heuristic in nature) is the notion of "compositional provinces". This is a construct based on an amalgamation of ceramic composition, chemical analyses of regional clays, as well as information pertaining to archaeological provenience, and formal or decorative patterns. It reflects the patterned expression of manufacturing practices within a variably delimited geographic-environmental, subregional setting which can be differentiated in a problem specific context from other similarly defined constructs in time or in space. It also acknowledges the interaction of the data analyst in modeling the resulting reference unit in an archaeological problem setting rather than by adherence to statistical probability alone (e.g., Bishop and Rands, 1982).

At central issue in compositional investigations is the notion of archaeological utility: just because you can statistically refine a group of samples, at some level, based on their compositional properties, it need not mean that the group has undisputable reality or meaningful archaeological use in a given application. One means of assessing that utility, however, lies in the evaluation of a refined compositional group relative to external, that is, non-chemical data pertaining to other compositional characteristics (temper, texture) and more traditional archaeological information (e.g., aspects of form,surface finish, decoration, color, context, etc.). This "best-fit" approach is being used extensively in study of pottery from the northwestern Maya Lowlands, including the fine paste and tempered ceramics from the great Classic Period Maya center of Palenque (Fig. 1), the dominant polity of Northwestern Maya Lowlands in southern Mexico.

PALENQUE, THE NORTHWESTERN LOWLANDS, AND FINE PASTE POTTERY

Before turning an example of specific application, let me provide a sketch of the archaeological setting. Palenque evolved, from perhaps as early as 1000 BC to become the dominant polity of the northwestern Maya Lowlands until approximately 900 A.D. Located on the first ridge of the sierras of Chiapas, this important Maya center was bounded by limestone hills and valleys to the south, and the plains and savannas extending from the escarpment to the north until grading into the alluvial flood plain of the Usumacinta. Research has focused on the use of pottery to reveal Palenque's economic, political and religious relationships with smaller sites in its "sustaining" area (Rands, 1974, 1987; Bishop, 1992).

Palenque, the largest center of the northwestern lowlands, participated in the Maya "Great Tradition" (Webster 2002) with spectacular cultural achievements in writing, calendrics, art, monumental architecture and the association of high ranking individuals, institutions and ideology with elite behavior (Webster, 2002:66-67). Then in the last half of the eighth Century, something went terribly wrong: societal institutions

and the subsistence base no longer provided for the inhabitants. Once triggered, large sections of the Maya region underwent political collapse ultimately resulting in the essential abandonment of vast portions of the southern Maya Lowlands —areas that were not inhabited at the time of the Spanish arrival. Theories concerning the causes of the collapse abound (Webster, 2002; Demarest, 2004, Lucero, 2006). Most agree, however, that the Maya kings lost their dynastic control and ability to maintain social cohesion, as a result of drought, warfare, agrarian failure, or invasion, or other factors. There is general agreement that the collapse began in the northwestern Lowlands, involving centers such as Palenque and those of the Usumacinta drainage and in different ways, over variable amounts of time, gradually embraced the central lowland region between 900-1000 A.D. It seems unlikely that something like a common cause was

responsible in all areas, thereby requiring that local histories considering the collapse be constructed, and ones in which ceramic changes and distributional patterns must play a major role. Part of the evidence for these local histories can be found in the Fine Gray and Fine Orange wares and their changing popularity and distribution spanning the time of the Maya Collapse.

Late in Palenque's ceramic sequence, especially beginning in the Murcielagos Period, ca. 700 A.D., thin-walled, orange-brown, black and gray fine paste pottery becomes abundant, eventually incorporating Fine Orange Ware (Fig. 3) about the time of the collapse in the northwest. It was thought that the Gulf coast of Tabasco and Campeche might be the source of these late-occurring wares. The presence of these ceramics, in association with other data (e.g., "foreign" stylistic features, were used to support the hypotheses of non-Classic Maya incursion into the Pasion-Usumacinta drainage as possible factors in the collapse of the upper Usumacinta polities (see, among others, Adams, 1971).

At the end of Palenque's Otolum Period, following the death of K'inich Janaab', Pakal I, ca. A.D. 683, thin-walled fine paste pottery was produced locally and imported in large quantities into Palenque. These vessels frequently contained opal phytoliths, derived from silica accumulating plants such as occurs in grasses and sedges, thereby suggesting the use of resources, somewhere near to, but away from the site. Early during the site's subsequent Balunte Period (ca. A.D.750-810), new forms of fine paste became abundant, especially the outcurved bowls or beakers. Archaeological evidence, as well as textural and phytolithic data, suggest that Palenque, sites in it's immediate environs, and sites in the Usumacinta drainage were all closely involved in the manufacture and distribution of fine textured ceramics occurring

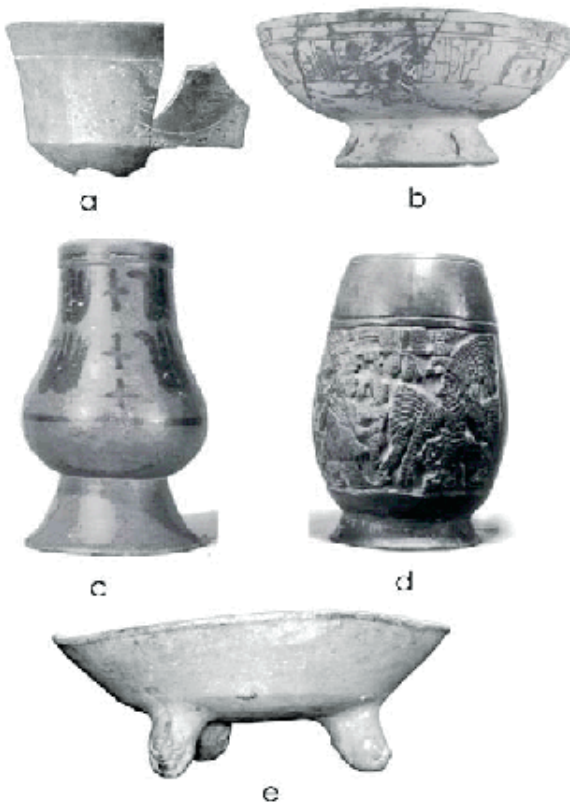


Figure 3. Examples of Maya Fine Orange and Fine Gray pottery.

in brown, gray, blacks and, ultimately, orange. Possible, too, was the involvement of this region with groups up the Usumacinta, along the Río Pasión. Because of the presence of this pottery before and during the time of Collapse of Maya society in the Northwestern lowlands, an intensive compositional investigation of ceramics has been carried out using neutron activation analysis.

ASPECTS OF COMPOSITIONAL VARIATION IN MAYA FINE ORANGE WARE

Here, I briefly illustrate aspects of the resulting data structure among late occurring Fine Orange ceramics and other compositionally similar fine paste pottery. These ceramics occur widely in the Maya region, but are recovered most numerously from sites in west and the floodplain, along the course of the Usumacinta, at sites along costal Campeche and coastal or interior sites of the Yucatan Peninsula. Key to understanding the distribution and development of Fine Orange Ware are the fine sediments of the Usumacinta River, which along with the Rio Grijalva forms a large flood and deltaic plain. Work carried out for more than 30 years, including the considerations of dozens of clay analyses, provides a secure attribution of the Fine Orange Ware to an "Usumacinta source." Attribution to a more specific site, however, is difficult due to the flood plain environment, with its variably-sized sediments deposited behind levees or collected in lagoons and oxbows. Essentially, we are attempting to understand patterns of compositional variation among ceramics comprised of flood plain sediments that might permit insights to changing patterns involving changes in the production and distribution of Fine Orange ceramics.

As noted in the introduction above, the chemical data were accumulated over the course of more than 30 years, first at Brookhaven National Laboratory (New York) and after 1982 at the National Institute of Standards and Technology in Gaithersburg, Maryland (Bishop, 2002; see Bishop, 1982 and Blackman and Bishop, 2002 for analytical details). Years of working with the data have revealed that not all elemental determinations are of equal utility for data modeling. Cobalt, sodium, and barium are omitted due to issues of contamination: cobalt from the drill bits used to extract the samples and higher sodium and barium in some samples as a result of being soaked in sea water. Several observations of a strong "cerium anomaly" lead to that element being omitted. Finally many of the earliest analyzed samples lack a determination of tantalum; it also was omitted from data processing. Ultimately, the concentrations of 14 elements (K, Sc, Cr, Fe, Rb, Sb, Cs, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, and Th) were used in the data analysis.

General patterns of dispersion within the data for 3,893 sample fine paste and related ceramics can be illustrated through reference to the concentrations of iron and chromium (Fig. 4). Dashed ellipses have been added to call attention to areas of density. Low on the x-axis (labeled A) are samples from southern Veracruz, north of the Usumacinta – Grijalva basin. Above them, and to the right (B), are samples of the Fine Orange and Fine Gray wares produced from the middle – lower sediments of the Usumacinta River (Bishop, 2003). Lower in iron concentration are samples in area C, which tend to be from the middle Usumacinta sites of Trinidad and Tierra Blanca. They differ from the other samples shown in the plot by having appreciable quantities of volcanic glass in the ceramic matrix. Occurring higher on the chromium axis are two distinct areas comprised of Fine Orange-brown (D), Fine Black (D) and Fine Gray ceramics (E); Fine Orange pottery tends not to occur in this section of the iron – chromium plot. The following discussion focuses on the Lower – Middle Usumacinta Fine Orange and Gray pottery represented in area B.

Overall the 1,269 samples from area B display a strong degree of similarity. Coefficients of variation for iron and scandium at 9% while the rare earths and thorium are approximately 13%. This is an expression of considerable compactness, made even more impressive considering that this an unrefined concentration of pottery made from alluvial clays in a tropical environment. As these are "untempered" ceramics, and since their chemical profiles "match" fired clay samples prepared from the various locations along the middle-lower Usumacinta drainage, we have a secure indication of "source." Yet, within this highly similar body of material, considerably more archaeologically significant information can be found.

Elemental associations tend to be strongly correlated, especially among the light rare earth elements (ca. 0.75) and between iron and scandium (9.0). Due to these strong correlations, simple average linkage clustering of Euclidean distances based on raw or log-transformed values tend to split naturally occurring groups. An alternative was to extract the primary principal components and then cluster the sample loadings on those components, as this permits spherical clusters for be formed from non-correlated data. To reduce the introduction of potential noise into the analysis, components with eigenvalues greater than 1.0 were used (Table 3). Carried out in this manner, the numerical procedures applied to the densely populated area B of Figure 4 revealed several rather distinct patterns that appear to have distributional and

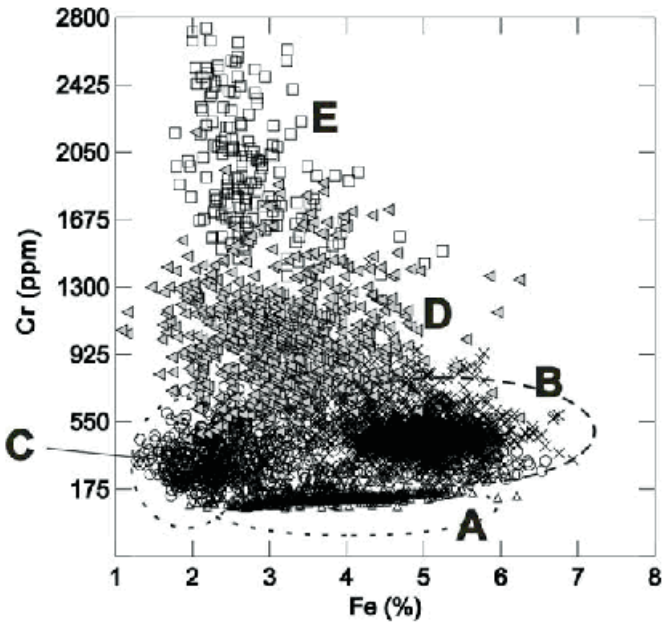


Figure 4. Fine paste pottery shown relative to concentrations of iron and chromium. Dashed lines have been added to call attention of areas A, B, and C.

	PCA 1	PCA 2	PCA 3
K	0.576	-0.383	-0.351
Sc	0.753	-0.303	0.478
Cr	0.180	0.760	0.031
Fe	0.747	-0.191	0.514
Rb	0.632	-0.436	-0.425
Sb	0.306	-0.300	0.037
Cs	0.320	-0.578	-0.401
La	0.911	0.163	-0.096
Sm	0.929	0.120	0.010
Eu	0.879	0.085	0.116
Yb	0.870	0.142	0.045
Lu	0.709	0.115	0.103
Hf	0.373	0.685	-0.463
Th	0.898	0.088	-0.065
	Variance Explained by Components		
	7.5	2.1	1.2
	Percent of Total Variance Explained		
	50.1	13.7	8.1

Table 3. Principal component loadings of Middle-Lower Usumacinta Maya Fine Orange and Fine Gray pottery

temporal interest These derived clusters, manipulated only to exclude obvious outlying specimens, are shown relative to principal components 1 and 2 (Fig. 5) and 1 and 3 (Fig. 6). Data analysis is ongoing and the 90% confidence ellipses shown are more to draw attention to individual "clusters" than to claim unambiguous group membership. The overall similarity of composition can be observed in Table 4. Certain preliminary observations are mentioned below that are interpreted as having temporal and distributional importance.

The areas of density noted as G1, G2 and G3 represent the majority of the analyzed specimens and have a secure source from the sediments of Lower Middle Usumacinta. Unit G1 contains Balancan Fine Orange (Fig. 3b), presumed to be the earliest in development and examples of Chablekal Fine Gray (Fig. 3a). The latter is of an Usumacinta source, refires to an orange color, and is distinct from other Chablekal pottery that was produced nearer to the site of Palenque (Bishop, Sears, and Blackman, 2005). Silho Fine Orange (Fig. 3c), which may be slightly later than Balancan, is also tied to the Balancan source. Units G2 and G3

	G1		G2		G3		G4		G5		G6	
Na%	0.82	*23*	0.75	*19*	0.64	*20*	0.76	*20*	0.78	*18*	0.62	*25*
K%	1.84	*9*	1.95	*7*	2.00	*7*	1.85	*8*	1.74	*6*	1.73	*9*
Sc	15.8	*4*	17.0	*4*	18.4	*3*	18.0	*5*	17.1	*6*	19.1	*3*
Cr	448	*6*	431	*10*	415	*9*	492	*10*	524	*11*	460	*10*
Fe%	4.63	*4*	4.97	*4*	5.33	*3*	5.25	*4*	5.02	*5*	5.65	*3*
Rb	109	*8*	117	*8*	124	*7*	110	*8*	99	*9*	98.50	*8*
Sb	0.64	*22*	0.66	*23*	0.74	*19*	0.66	*34*	0.62	*20*	0.67	*23*
Cs	4.23	*10*	4.61	*9*	5.02	*8*	4.25	*11*	3.78	*13*	3.62	*12*
Ba	539	*38*	602	*4*	568	*29*	532	*28*	536	*39*	613	*23*
La	37.0	*4*	38.8	*5*	39.5	*4*	41.1	*5*	40.2	*4*	40.7	*4*
Ce	68.3	*5*	71.4	*5*	72.9	*4*	76.0	*5*	74.3	*4*	75.9	*5*
Sm	6.31	*4*	6.61	*4*	6.85	*5*	7.04	*5*	6.91	*4*	7.09	*4*
Eu	1.23	*4*	1.30	*5*	1.34	*4*	1.40	*5*	1.36	*6*	1.41	*7*
Yb	3.24	*8*	3.37	*7*	3.46	*7*	3.65	*7*	3.57	*6*	3.72	*7*
Lu	0.48	*12*	0.49	*11*	0.52	*13*	0.53	*11*	0.52	*7*	0.53	*14*
Hf	6.31	*13*	6.16	*12*	5.83	*8*	6.63	*13*	6.91	*10*	6.34	*13*
Ta	0.95	*13*	0.98	*16*	1.00	*14*	1.04	*10*	0.98	*10*	1.02	*9*
Th	10.3	*6*	10.8	*6*	11.2	*4*	11.5	*7*	11.2	*4*	11.70	*9*

	G7		G8		G9		G10		G11		G12	
Na%	0.80	*21*	0.69	*16*	0.61	*13*	0.86	*27*	0.68	*34*	0.64	*17*
K%	2.16	*8*	2.26	*8*	2.29	*9*	1.92	*15*	1.65	*14*	1.85	*10*
Sc	17.6	*7*	18.6	*5*	19.9	*4*	16.2	*5*	15.7	*6*	18.5	*6*
Cr	396	*12*	506	*13*	457	*16*	562	*17*	786	*6*	564	*15*
Fe%	5.14	*5*	5.38	*4*	5.73	*5*	4.80	*6*	4.67	*7*	5.53	*5*
Rb	135	*9*	141	*9*	147	*12*	117	*12*	103	*10*	108	*12*
Sb	0.73	*19*	0.73	*18*	0.80	*22*	0.64	*21*	0.64	*14*	0.70	*26*
Cs	5.29	*12*	4.96	*15*	5.04	*17*	4.50	*13*	3.90	*13*	3.66	*15*
Ba	633	*28*	661	*26*	647	*18*	613	*18*	479	*23*	587	*49*
La	43.5	*6*	46.7	*7*	51.6	*7*	44.0	*6*	46.5	*6*	47.6	*7*
Ce	79.8	*6*	87.3	*9*	98.2	*9*	81.0	*7*	85.8	*8*	87.9	*6*
Sm	7.31	*5*	8.14	*8*	8.95	*6*	7.35	*7*	7.60	*6*	8.18	*5*
Eu	1.41	*6*	1.51	*5*	1.65	*5*	1.41	*11*	1.42	*7*	1.54	*6*
Yb	3.74	*7*	4.18	*7*	4.58	*6*	3.68	*7*	3.98	*6*	4.22	*10*
Lu	0.53	*13*	0.58	*9*	0.64	*9*	0.53	*12*	0.57	*9*	0.60	*11*
Hf	6.87	*18*	7.27	*13*	7.02	*12*	8.17	*14*	9.82	*8*	7.69	*10*
Ta	1.10	*14*	1.18	*16*	1.21	*13*	1.14	*22*	1.55	*54*	1.22	*11*
Th	12.3	*5*	13.1	*6*	14.5	*7*	12.0	*10*	13.0	*12*	13.3	*6*

Coefficients of variations are in italic

Table 4. Mean concentrations and coefficients of variation for labeled areas of Figures 5 and 6.

contain far more Fine Orange and significantly fewer Fine Gray ceramics. All three of these slightly separable assemblages have distributions that extend from the Lower-middle Usumacinta to sites along the coasts of Campeche and Yucatan and to sites in the interior of the Northern Lowlands. The rather compact group G4, best observed in Figure 5, is strongly associated with G1-3, but is primarily from the site area of Aguacatal, which is located on the Usumacinta delta.

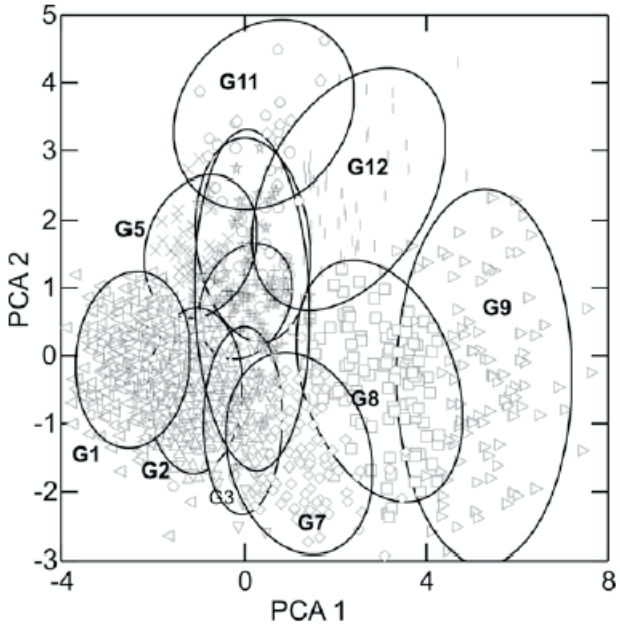


Figure 5. Plot of fine paste pottery relative to principal components 1 and 2. Ellipses represent 90% confidence intervals. See text for labeling of areas.

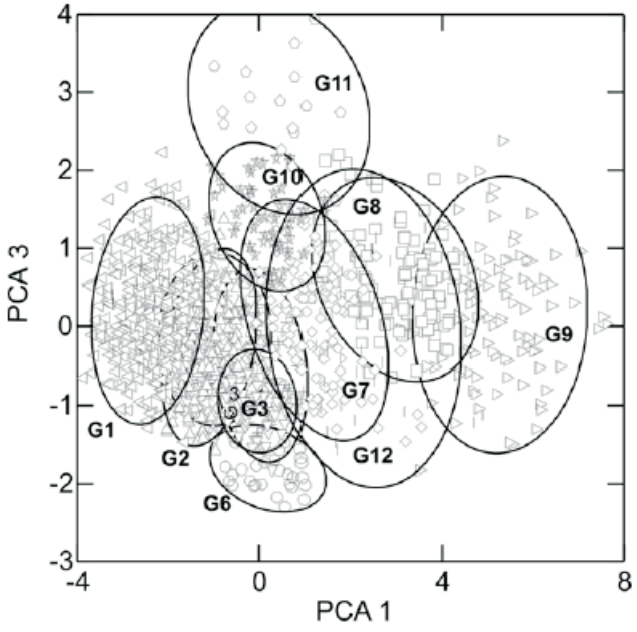


Figure 6. Plot of fine paste pottery relative to principal components 1 and 3. Ellipses represent 90% confidence intervals. See text for labeling of areas.

Many plain (undecorated) orange and plain gray ceramic occur in area G7, with sites represented from the lower to the upper portions of the Usumacinta. Units occurring higher on Principal Component 1 (G8 and G9) are not only chemically distinct from those containing the Balancan ceramics but are considerably different in style and distribution. They contain members of the ceramic known as Pabellon Molded-carved (3d), and certain other types that occur in the reduced, rather than oxidized paste. Distributionally, they are more frequent at sites along the upper Usumacinta and adjacent sites of central Petén area. Pottery of this type has been thought to be later than that represented by Balancan ceramics (e.g., Smith 1958), perhaps filling becoming more numerous following the early stages of the Maya Collapse. Also with "up-river" proveniences are samples in the G11 and G12. Pottery represented tends to be slightly thick and may contain more volcanic dust,

Pottery of the Matillas Ceramic Group (Fig. 3e), perhaps postdating 1200 AD, occurs in area G4. These are the latest Fine Orange samples to be compositionally studied. They tend to differ largely in their lower alkali values.

COMMENTS

On one level, the question of source for the Maya Fine Orange pottery was answered by the early 1980s when it was clear that the ceramics could be attributed to sources along the lower-middle Usumacinta drainage. Beyond this, however, issues of time and distribution of the different form and decorative classes of Fine Orange become important. No longer seen as integrally tied to hypotheses of non-Maya peoples (foreigners) sweeping up the Usumacinta from the Gulf Coast and being major factors in the Maya Collapse, Fine Orange ceramics can be seen as part of a large, multiregional tradition with decorative aspects derived from earlier Maya ceramics (e.g., fine orange-browns, blacks and grays).

Detailed understanding of the development and elaboration of fine paste pottery of the Northwestern Lowlands may provide greatly needed insights into events associated with the social disintegration and abandonment that affected large sections of the interior Maya Lowlands, occurring first in the western polities and spreading east (Gill, 2000:235). These were ceramics that grew to prominence and were carried to areas well beyond the lower-Middle Usumacinta source area before, during and after a period that witnessed more than a century of drought, a resulting decline in the agricultural base, an increase of competitive warfare, diversion to sea-borne trade (Adams, 2005:335), and the "rejection of the ideology and institution of kingship" (Webster, 2002:327-328; see also Demarest, 2004; Lucero, 2006).

Chemically-based partitioning of ceramic information for studies of manufacture and distribution work fairly well —especially when they are augmented through common sense consideration of non-chemical multi-stage, multi-level descriptors. While we may see distributional or temporal patterns of interest, simple graphing of compositional profiles according to one or a few principal components is clearly inadequate for the larger task. It will not be until the chemical data are more fully integrated with aspects of modal changes in form and decoration that a more accurate picture of the societal events of the eighth Century and what followed in the region will emerge. It will require a "best-fit" of diverse data sets. Indeed, understanding the patterning within the chemistry is dependent upon the archaeological information that is itself informed by chemistry. For the Maya fine paste pottery tradition, as for the attribution of the tomb pottery from Copan, a wonderfully complex feedback loop is created.

REFERENCES

ADAMS, R.E.W. 1971: *The Ceramics of Altar de Sacrificios. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University* 63 (1). Peabody Museum. Cambridge, MA.

BEAUDRY, M.P. 1991: *New World paste compositional investigations. In The Ceramics Legacy of Anna O. Shepard,* edited by R. L. Bishop and F. W. Lange. University Press of Colorado. Niwot: 224-256.

REENTS-BUDET, D.; BELL, E.E.; TRAXLER, L.P. AND BISHOP, R.L. 2003: *Early Classic Ceramic Offerings at Copan: A comparison of the Hunal , Margarita, and Sub-Jaguar Tombs. In Understanding Early Classic Copan,* edited by E.E. Bell, M.A. Canuto, and R.J. Sharer. University of Pennsylvania Museum. Philadelphia: 159-190.

BELL, E.E.; SHARER, R.J.; TRAXLER, L.P.; SEDAT, D.W. CARRELLI, C.W. AND GRANT, L.A. 2003: *Tombs and burials in the Early Classic acropolis at Copan. In Understanding Early Classic Copan,* edited by E.E. Bell, M.A. Canuto, and R.J. Sharer. University of Pennsylvania Museum. Philadelphia: 131-158.

BISHOP, R.L. 2003: *Five decades of Fine Orange ceramic investigation by INAA. In Patterns and Processes: A Festschrift in honor of Dr. Edward V. Sayre,* edited by L. van Zelst. Smithsonian Center for Materials Research and Education. Washington: 81-92.

BISHOP, R.L. AND BLACKMAN, M.J. 2002: "Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: scale and interpretation". *Accounts of Chemical Research* 35 (8): 603-610.

BISHOP, R.L. AND RANDS, R.L. 1982: "Mayan Fine Paste ceramics: a compositional perspective. In Analyses of Fine Paste Ceramics, Excavations at Seibal", edited by J.A. Sabloff. *Memoirs of the Peabody Museum* 15 (2). Harvard University. Cambridge, MA: 283-314.

BISHOP, R.L.; RANDS, R.L. AND HOLLEY, G. 1982: *Ceramic compositional analysis in archaeological perspective. In Advances in Archaeological Method and Theory,* edited by M. Schiffer. Academic Press. New York. Vol. 5: 275-330.

BISHOP, R.L.; SEARS, E.L. AND BLACKMAN, M.J. 2005: "A través del Río del cambio". *Estudios de Cultura Maya,* XXVI: 17-40.

BLACKMAN, M.J. AND BISHOP, R.L. 2007: "Smithsonian – NIST Partnership: Application of instrumental neutron activation analysis to archaeology". *Archaeometry* 49 (2): 321- 343.

DEMAREST, A. 2004: *Ancient Maya. The rise and fall of a rainforest civilization.* Cambridge University Press. Cambridge.

GILL, R.B. 2000: *The Great may Droughts. Water, Life, and Death.* University of New Mexico Press. Albuquerque.

LUCERO, L.J. 2006: *Water and Ritual: The Rise and Fall of Classic Maya Rulers.* The Linda Schele Series in Maya and Pre-Columbian Studies. University of Texas Press. Austin.

NEFF, H. 2000: *Neutron activation analysis for provenance determination in archaeology, in Modern Analytical Methods in Art and Archaeology,* edited by E. Ciliberto and G. Spoto. John Wiley. New York: 81-134.

RANDS, R.L. 1974: *The ceramic sequence at Palenque, Chiapas. In Mesoamerican Archaeology. New approaches,* edited by N. Hammond. University of Texas Press. Austin: 51-76.

SABLOFF, J.A. 1982: *Introduction: a brief informal history of the Maya Fine Paste Ceramics Project. In Analyses of fine Paste Ceramics, Excavations at Seibal,* Memoirs, vol. 15 (2), edited by J.A. Sabloff. Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University. Cambridge, MA: 269-271.

SAYRE, E.V.; MURRENHOFF, A. AND WEICK, C.F. 1952: *The Non-destructive Analysis of Ancient Potsherds through Neutron Activation.* Brookhaven National Laboratory Report, BNOL-508 (T-122). Upton. New York.

SAYRE, CHAN, AND SABLOFF 1971: *High-resolution gamma ray spectroscopic analyses of Mayan Fine Orange pottery, in Science and Archaeology,* edited by R. H. Brill. M.I.T. Press. Cambridge, MA: 165- 179.

SOUTHAM, B.C. 2001: *A Guide to the Selected Works of T. S. Eliot.* 6th edition. Harcourt Trade Publishers. New Work.

SMITH, R.E. 1958: "The place of Fine Orange pottery in Mesoamerican archaeology". *American Antiquity* 24: 151-160.

SMITH, R.E.; WILLEY, G.R. AND GIFFORD, J.C. 1960: "The Type-Variety concept as a basis for the analysis of Maya pottery". *American Antiquity,* 25 (3): 330-340.

SPEAKMAN, R.J. AND GLASCOCK, M.D. (editors) 2007: Special Issue. *Archaeometry,* 49, part 2.

WEBSTER, D. 2002: *The Fall of the Ancient Maya. Solving the mystery of the Maya Collapse.* Thames & Hudson. New York.

ANÁLISIS ELEMENTAL Y CROMÁTICO DE CERÁMICA PREHISTÓRICA DEL ÁREA ULLA-DEZA (NW DE LA PENÍNSULA IBÉRICA)

ELEMENTAL AND CHROMATIC ANALYSIS OF PREHISTORIC POTTERY FROM THE ULLA-DEZA AREA (NW IBERIA)

ANTONIO MARTÍNEZ-CORTIZAS[1,3], BEATRIZ PRIETO-LAMAS[1],
ÓSCAR LANTES-SUÁREZ[2], Mª PILAR PRIETO-MARTÍNEZ[3]

(1) Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidade de Santiago de Compostela. Campus Sur. 15782 Santiago de Compostela.
(2) Unidade de Arqueometría, RIAIDT - Edificio CACTUS, Universidade de Santiago de Compostela. Campus Sur. 15782 Santiago de Compostela.
(3) Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente y Paisaje. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Universidade de Santiago de Compostela. Unidad Asociada al IEGPS (CSIC-XuGa). R.U. Monte da Condesa. Campus Sur. 15706 Santiago de Compostela.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo principal la caracterización de cerámica prehistórica de tres yacimientos del área Ulla-Deza (Galicia, NW de la Península Ibérica), para un periodo que abarca desde el Neolítico Medio al Bronce Final. La caracterización se hace a partir de un estudio previo de la composición mineralógica (por difracción de rayos X), al que se añaden el estudio de la composición elemental (por fluorescencia de rayos X y autoanalizador CNSH) y la determinación cuantitativa del color (mediante un espectrofotómetro Color-EYE XTH, utilizando el espacio de color L*C*h). Se analizaron 100 fragmentos representativos de otros tantos recipientes. Los resultados indican una íntima relación entre la composición mineralógica y elemental, permitiendo establecer grupos composicionales homogéneos. El estudio sistemático del color es de gran ayuda en la caracterización de esta cerámica y muestra una fuerte dependencia composicional, principalmente del contenido de hierro y carbono.

ABSTRACT

*This study aims to characterize prehistoric pottery from three archaeological sites located in the Ulla-Deza area (Galicia, NW Iberia). The pottery covers the period between the Mid Neolithic to the Late Bronze Age. A previous mineralogical characterization (by XRD) is complemented here with the study of the elemental composition (by XRF and C-N elemental analysis) and a chromatic analysis (through a Color-EY XTH spectrophotometer, using the L*C*h space) on 100 pottery samples. The results indicate an intimate relationship between mineralogical and elemental composition, which enabled the establishment of compositional groups of ceramics. The chromatic study showed that colour is dependent on the ceramic composition, playing iron and carbon an essential role.*

Palabras clave: Mineralogía, DRX, Composición Elemental, FRX, Color, Espectrofotómetro Color-EYE XTH, Cerámica, Neolítico, Campaniforme, Edad del Bronce, Galicia (NW de España).

Key words: *Mineralogy, XRD, Elemental composition, XRF, Colour, Spectrophotometer Color-EYE XTH, Ceramic, Neolithic, Bell Beaker, Bronze Age, Galicia (NW of Spain).*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto titulado *"Aplicación de técnicas arqueométricas ao estudo da cerámica antiga de Galicia"*[1]. Este proyecto nos permite desarrollar una línea de investigación sistemática en arqueometría cerámica en el NW de la Península Ibérica, de reciente inicio[2]. Dentro de la primera fase del mismo hemos priorizado la cerámica de yacimientos prehistóricos, siendo el área Ulla-Deza (Provincia de Pontevedra) una de las zonas más importantes. Para realizar el estudio de la cerámica que presentamos en este trabajo hemos seleccionado tres yacimientos excavados entre los años 2001 y 2002, en el marco del *Programa de Corrección de Impacto arqueológico de la Autopista Santiago-Ourense* (Figura 1) (Prieto *et al.,* 2002).

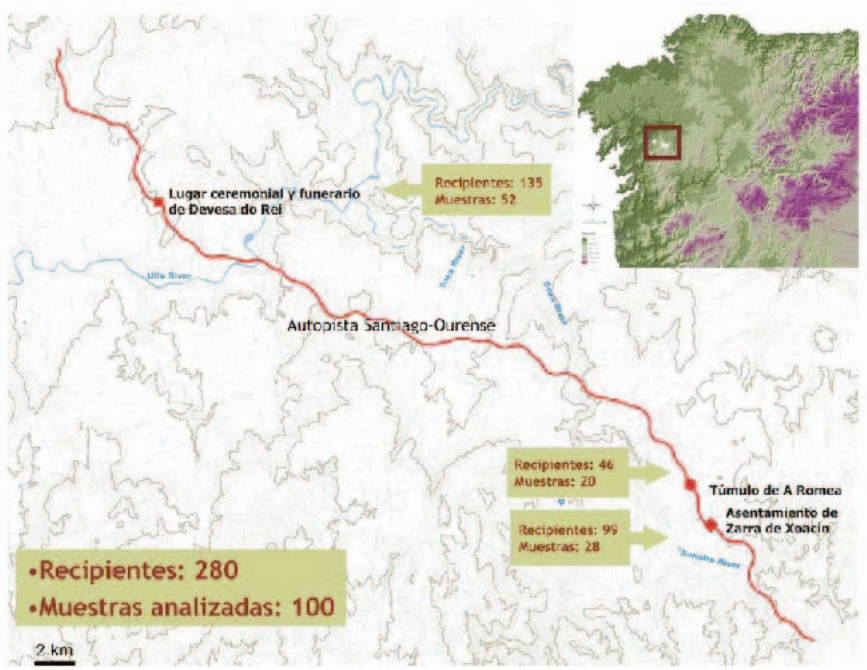


Figura 1. Localización de los yacimientos.

Los yacimientos seleccionados (Zarra de Xoacín, A Romea y A Devesa do Rei) son de gran interés debido a su amplio abanico cronológico (abarcan un período de casi 4000 años, desde el Neolítico Medio hasta el Bronce Final – Tabla 1) y variedad contextual (funeraria, doméstica, ritual). Nuestra base empírica se apoya en el estudio arqueológico previo sobre 280 fragmentos cerámicos. De éstos se seleccionaron 100 piezas, representativas de la variabilidad formal, estilística y cronológica, para llevar a cabo los análisis arqueométricos.

El yacimiento de **Zarra de Xoacín** (Aboal *et al.,* 2004-2005) es un asentamiento con dos momentos de ocupación. El más antiguo se corresponde al Neolítico Final y el más reciente al Bronce Inicial. **A Romea** (Mañana, 2003; Prieto, 2007) es un túmulo localizado a unos 2 km al NW del yacimiento anterior, y posee

1. Proyecto concedido por la Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvimento e Innovación (I+C+I) de la Xunta de Galicia dentro del Programa de Promoción Xeral de Investigación do Plan Galego de Investigación, Desenvolvemento e Innovación Tecnolóxica (INCITE) de 2007 (código: PGIDIT07PXIB236075PR).

2. Aunque la alfarería es el tema mejor conocido en Galicia, la orientación arqueométrica es todavía muy escasa (Guitián y Vázquez, 1981; Andrés, Menéndez y Muñoz, 1993; Prieto, 1993; Taboada, Carreño y Guitián, 1994; Rey y Soto, 2002; Prieto, Juan y Matamala, 2005).

una mayor frecuencia de ocupaciones a lo largo del tiempo, casi continuada desde el Neolítico Medio hasta el Bronce Final, con intrusiones de época romana y época moderna. El yacimiento de **A Devesa do Rei** (Aboal *et al.,* 2005) dista unos 30 km de los otros y es el más complejo en cuanto a interpretación pues presenta los restos de un área de actividad del Neolítico Medio, en el Bronce Inicial la ocupación probablemente responda a una función ceremonial y en el Bronce Final, a una función funeraria.

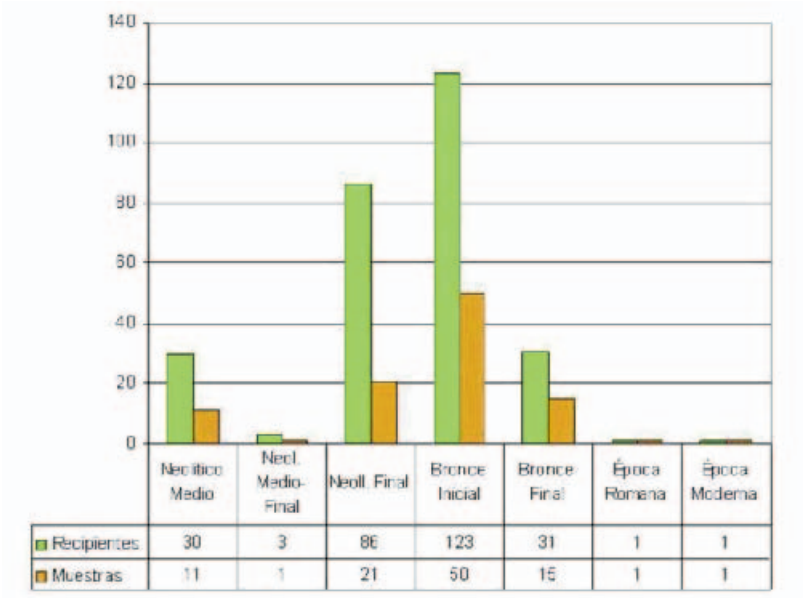


Tabla 1. Distribución de piezas analizadas según su cronología.

En un trabajo previo (Martínez, Lantes y Prieto, 2008) llevamos a cabo un estudio mineralógico de estos mismos recipientes, en el que comprobamos la gran diversidad mineralógica que existía. Se indentificaron catorce minerales, de los cuales seis eran mayoritarios (frecuencia de aparición superior al 25%) frente a ocho minoritarios (presentes en menos del 10% de las piezas estudiadas). Entre los primeros se encontraban el cuarzo (100% de las piezas), las plagioclasas (92%), las micas (87%), los feldespatos potásicos (77%) los anfíboles (49%) y la haloisita (26%), y entre los segundos la caolinita (9%), las cloritas (8%), la anatasa (7%), el talco (4%), la hematita (2%), las vermiculitas (2%), los granates (2%) y los piroxenos (1%). En cuanto a la proporción de cada mineral en las cerámicas que lo contienen (abundancia media), el cuarzo presentó un valor del 45±16%, las plagioclasas un 16±10%, similar al de los feldespatos potásicos (15±15%), anfíboles (16±17%) y haloisita (19±7%) y las micas una proporción inferior (9±7%). Los minerales minoritarios, a pesar de su baja frecuencia en el conjunto de cerámicas analizadas, tienen una alta abundancia en las cerámicas en las que se detectaron, influyendo de modo decisivo en su composición.

A partir de estos datos mineralógicos y utilizando la abundancia y presencia de los distintos minerales (salvo el cuarzo, que se excluye por estar presente en proporciones elevadas en todas las muestras de cerámica), se establecieron once tipos mineralógicos: (I) cerámicas feldespático potásicas, (II) cerámicas feldespático potásicas con plagioclasa, (III), cerámicas plagioclásico anfibólicas con feldespatos potásicos ocasionales, (IV) cerámicas plagioclásico anfibólicas, (V) cerámicas anfibólicas, (VI) cerámicas cloríticas, (VII) cerámicas hematíticas y (VIII) cerámicas piroxeníticas. Dentro de los grupos I, II y III se establecieron dos subgrupos, a y b, en función de la abundancia de micas (estando caracterizado el b por una mayor proporción de estos minerales).

En base a estos tipos mineralógicos establecidos se pudieron observar ciertas diferencias entre yacimientos: Devesa do Rey es el yacimiento con una mayor representación de tipos mineralógicos, predominando IIa, IIb y especialmente IIIa. Zarra de Xoacín es el más homogéneo —menor número de tipos—, representado principalmente por los tipos IIb, IIIa y IIIb y el túmulo de A Romea, localizado en la misma zona que Zarra, es el más heterogéneo, destacando el tipo anfibólico (V). Así mismo se observaron ciertas diferencias a nivel cronológico, ya que la cerámica neolítica no presenta tipos de composiciones extremas (VII y VIII, por ejemplo), predominando las cerámicas de composición calcoalcalina y micácea. El Bronce Inicial resultó ser el período más rico en tipos mineralógicos, si bien los materiales alcalinos (grupo I) están pobremente representados, y en el Bronce final se observó que si bien hay una cierta variedad de tipos la composición de cada uno de ellos tiende a ser muy homogénea. Por otro lado, la comparación de la composición de las cerámicas con la mineralogía de las rocas y productos de meteorización de las mismas en la zona de estudio, permitió apuntar hacia un origen local de estas cerámicas, salvo para la cerámica piroxenítica.

En el presente trabajo abordamos el siguiente paso de análisis, la caracterización geoquímica, mediante la determinación de la composición elemental de las pastas. El objetivo es llevar a cabo una caracterización en mayor detalle de las cerámicas y establecer diferencias y similitudes en la composición elemental entre grupos cerámicos, así como su relación con los tipos mineralógicos. Además, también consideramos importante estudiar una de las características más evidentes y visibles de la cerámica: el *color.*

El color es definido por la Real Academia Española de la Lengua como una “sensación producida por los rayos lumínicos que impresionan los órganos visuales y que dependen de la longitud de onda” (RAE, 2001). De otro modo, podemos definirlo como un fenómeno físico que se puede expresar en términos de su tono (hue, matiz), su luminosidad (claridad) y su saturación (croma, viveza). Sin embargo, la percepción del color es subjetiva, pues depende de diversos factores como la naturaleza de la fuente de luz, el ángulo de iluminación y visualización, diferencias de fondo, tamaño del objeto, sensibilidad del ojo e incluso factores culturales. Hay estudios que demuestran que el color, aspecto relacionado con el sentido de la vista, no es sólo un registro directo de la realidad, sino que es también un constructo mental, ya “que la mente no se limita a registrar una imagen exacta del mundo, sino que crea su propio cuadro” (Rock, 1985: 3). En este sentido, la percepción “es un constructo cultural y social, por lo tanto, está condicionada por factores tanto fisiológicos como sociales” (Irujo y Prieto, 2005). Algunos estudios de antropología (por ejemplo, Miller, 1985, en relación con la sociedad hindú) y arqueología (por ejemplo, Prieto, 1999, para contextos campaniformes gallegos) demuestran esta idea: el color, y en particular el color de la cerámica, tiene un significado simbólico importante según el contexto social en el que se usa.

El hecho de que el color fuese considerado como una variable cualitativa hizo que a éste se le otorgara un papel secundario, interviniendo únicamente en algunas clasificaciones formales o simplemente siendo descartado de los estudios arqueométricos. Pero, como veremos, el color no sólo se puede cuantificar, sino también relacionar con los resultados obtenidos en el estudio mineralógico y elemental.

Partiendo entonces de la mineralogía ya determinada, nuestros objetivos son sobre todo metodológicos: caracterizar la composición elemental de la cerámica, poniéndola en relación con los tipos mineralógicos establecidos anteriormente y determinar cuantitativamente el color, comparándolo también con los tipos mineralógicos y la composición elemental, con la intención de dilucidar qué factores pueden condicionarlo.

EL PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología se desarrolló en varias fases (Figura 2). El estudio arqueológico, la caracterización morfológica y fotografiado de los fragmentos cerámicos, su molienda y su análisis en difracción de rayos X de polvo cristalino se realizaron en un estudio previo (Martínez, Lantes y Prieto, 2008). En el estudio que nos

atañe, se determinó la concentración de 26 elementos químicos (Mg, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Pb, Th, C y N), mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X en dos espectrofotómetros con ánodos de Ag y Mo y detector de Si y en un autoanalizador LECO CNSH (para C y N), ubicados en los servicios analíticos de la RIAIDT de la USC.

Finalmente, el color se determinó cuantitativamente con un espectrofotómetro de sólidos sobre el polvo homogenizado de las muestras cerámicas finamente molidas. El color se puede expresar en diferentes coordenadas, que son denominadas *espacios de color,* cada uno de estos *espacios* es utilizado según la finalidad del análisis y la naturaleza de los materiales a determinar (controles de calidad, detección de falsificaciones y cambios, procesos industriales...). Dos de los espacios que más se ajustan a nuestros materiales, las cerámicas, son el sistema L*a*b* y el sistema L*C*h, pues permiten apreciar el color y sus diferencias de un modo visual fácil. Los dos son intercambiables, el primero se expresa en coordenadas cartesianas y el segundo en coordenadas polares. Hemos optado por trabajar con el segundo debido a que sus tres coordenadas se corresponden con las tres componentes básicas del color.

Así, en la esfera del color L*, que representa la luminosidad o claridad y que varía entre 0 —negro— y 100 —blanco—, corresponde al eje Z. El radio de la esfera sería C*, el croma o saturación, siendo en el centro del círculo 0 —grisáceo— que aumenta de saturaciones apagadas a vivas según se incrementa su valor. Y el ángulo sería h, llamado ángulo de tono, *hue* o matiz, y que varía de 0º en rojo, 90º en amarillo, 180º en verde y 270º en azul. La combinación de los tres parámetros en la esfera da lugar a todos los colores posibles con sus saturaciones y luminosidades.

Los datos geoquímicos y las variables cuantitativas mineralógicas y de color se sometieron a un tratamiento estadístico con el paquete SPSS 14.0, realizando análisis de la varianza para el establecimiento de diferencias significativas (α=0,05) y análisis factorial por componentes principales (datos: valores no transformados; análisis: matriz de correlaciones; extracción de autovalores >1) con el objeto de estudiar las relaciónes entre las variables y entre las muestras.

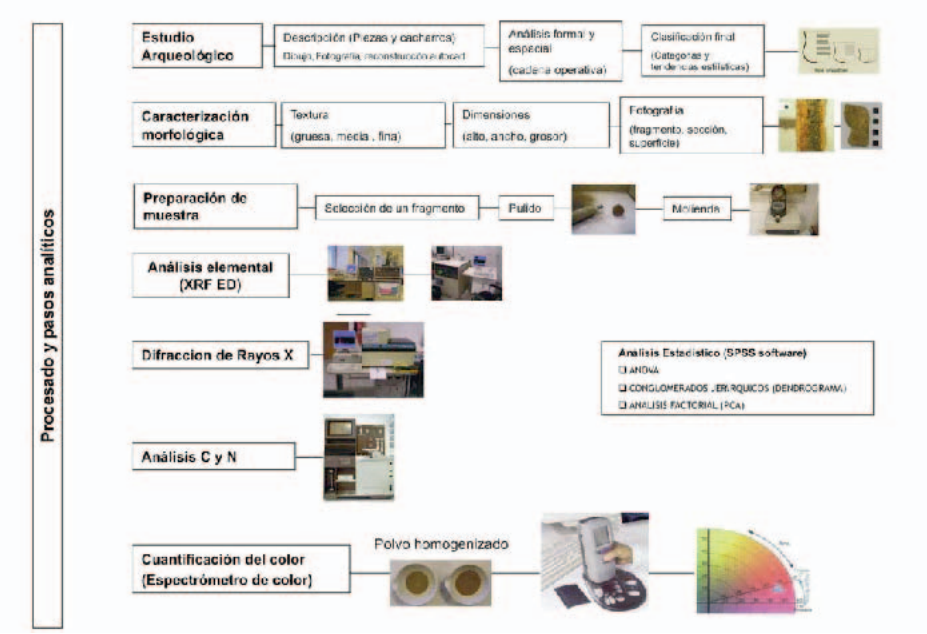


Figura 2. Esquema metodológico del presente estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición elemental

Las concentraciones medias de los elementos indicados más arriba se calcularon en función de los distintos tipos mineralógicos descritos previamente (Tabla 2). El magnesio tiene una concentración significativamente mayor en el tipo mineralógico VI (5,8% de media), el clorítico, además tiene una tendencia a que su concentración aumente hacia los tipos de mineralogía más básica. El silicio presenta valores superiores (20-25%) en los tipos más ácidos como el Ia, IIa y IIb. El potasio tiene un comportamiento similar (3-4%) pero sólo es significativamente mayor en los tipos Ia y Ib. El calcio destaca con concentraciones del 2-3 % en los tipos IV y V, los más ricos en anfíboles, y es particularmente alto en la muestra piroxenítica con un 8,4%[3]. El titanio muestra bastantes diferencias dependiendo del tipo mineralógico; tiende a aumentar hacia las composiciones más básicas, siendo su concentración significativamente mayor (1,6-2,9%) en los tipos IIIa, IIIb, IV y V, los plagioclásicos y anfibólicos. El tipo VII, hematítico, destaca por su alto contenido en titanio (4,5%). El hierro tiene una distribución similar a la del titanio, pero las diferencias sólo son significativas para los tipos IV y VI, plagioclásico anfibólico y clorítico (16-17%), y es especialmente elevado en el hematítico (VII, con un 21,2%). Las concentraciones elevadas de cromo, manganeso, níquel y zinc se asocian a los tipos de composición más básica, especialmente el VI, clorítico y el VII, hematítico. El cromo presenta concentraciones elevadas en los tipos IV, V, VI y VII, alcanzando 8087 µg g^{-1} de media en el clorítico (VI); el manganeso destaca en los grupos VI y VII con 2400 µg g^{-1}, el níquel en el VI con 2789 µg g^{-1}, el cobre en el VII (120 µg g^{-1}) y el zinc en ambos VI y VII (117 y 286 µg g^{-1} de media respectivamente). El rubidio se distribuye de modo similar a silicio y potasio, mostrando concentraciones significativamente más altas en los tipos con mayores proporciones de feldespatos potásicos (Ia, Ib, IIa y IIb) y una tendencia a disminuir a medida que disminuye la abundancia de los minerales más alcalinos. El estroncio tiene una distribución similar a la del calcio, con la máxima concentración (238 µg g^{-1}) en la muestra piroxenítica. El itrio sólo destaca por su alta concentración (90 µg g^{-1}) en el tipo VII, hematítico, ligado a los elementos metálicos. La concentración media más alta de circonio (460 µg g^{-1}) es la del tipo Ib, el más micáceo; mientras que el plomo, con valores habituales entre 15 y 40 µg g^{-1}, alcanza 176 µg g^{-1} en el tipo piroxenítico. Hay otros elementos que no presentan diferencias significativas y su contenido no parece estar ligado al carácter más o menos básico de los minerales de las cerámicas, como es el caso del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, arsénico, bromo, aluminio, galio y niobio, siendo los seis primeros elementos constitutivos o fuertemente ligados a la materia orgánica.

El conjunto de datos de composición elemental y mineralogía se trató estadísticamente mediante análisis factorial por componentes principales. En la Figura 3 se recoge la proyección en el primer y segundo componente de las variables (% de abundancia mineral y concentración de elementos químicos). El primer componente explica un 18,38% de la varianza total y muestra elevadas puntuaciones negativas para Si, K, Rb y los feldespatos potásicos, mientras que en la parte positiva aparecen elementos metálicos (Ti, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr, Ni) junto con los minerales hematita, anatasa, anfíboles y clorita. Por tanto, el primer componente define una transición de composiciones características de materiales geológicos ácidos hacia materiales básicos o ultrabásicos. El segundo componente explica un 12,33% de la varianza. Este componente agrupa al Al, Zr, Nb y Ga junto a las micas, en las cerámicas de composición ácida; mientras que en las cerámicas de composición básica separa entre aquellas dominadas por anfíboles (de los cuales parece depender también en buena medida la variación en la concentración de Ca), anatasa y hematita, y las cerámicas cloríticas (ricas en Mg, Cr y Ni). Así pues, hay una estrecha relación entre composición mineralógica y elemental. El primer componente del análisis factorial separa las cerámicas con

3. Análisis realizado en un fragmento de ánfora romana documentada en A Romea.

feldespatos potásicos —grupos I, II y III, que tienen concetraciones más altas de Si, Rb, K, Al, Zr, Nb y Ga— a la izquierda, de los demás grupos que se distribuyen tanto más hacia la derecha cuanto mayor es el contenido en plagioclasas, anfíboles y otros minerales minoritarios (Figura 3). Mientras que el segundo componente separa en función del contenido de micas entre las cerámicas que contienen feldespatos potásicos (Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIb), asociándose a ellas concentraciones más elevadas de elementos típicos de minerales traza (como los circones) que tal vez estén presentes como inclusiones en las micas. Entre las cerámicas de los demás grupos, los anfíboles responden de la mayor parte de la variación en la concentración de Ca, como ya se ha dicho, pero no de otros elementos que son típicos de estos minerales, como pudiera ser el Fe. Esto se debe a que unas pocas cerámicas de composición mineralógica particular, de los grupos VI a VIII (cloríticas, hematíticas y piroxeníticas), tienen, a su vez, composiciones metálicas extremas que dominan la varianza de los elementos metálicos. El resto de la varianza no explicada se reparte entre otros ocho factores (hasta un 70% de la varianza). Las variables (abundancia de los minerales y elementos químicos) que dominan estos ejes presentaron una baja comunalidad. Por tanto, estas fracciones de varianza están condicionadas por la composición de muestras individuales y no reflejan varianza común que pueda atribuirse a factores subyacentes generalizables.

GRUPO M	N	C	N	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	P	S	Cr	Mn
Ia	5	1,99 0,97	0,23 0,23	1,01 0,46	10,96 2,04	24,93* 5,28	3,22* 0,66	0,14 0,12	0,36 0,12	2,89 0,72	362 101	243 389	47 17	216 166
Ib	3	2,49 1,11	0,16 0,03	1,02 0,21	10,76 0,93	18,41* 1,56	3,63* 0,47	0,13 0,04	0,89 0,33	5,04 1,56	505 11	941 179	76 23	236 66
IIa	12	1,39 0,56	0,11 0,04	1,38 0,62	10,17 1,82	22,65 2,89	2,10 0,30	0,30 0,29	0,94 0,87	5,00 3,52	393 149	415 231	145 106	449 337
IIb	21	1,86 0,83	0,12 0,03	1,36 0,43	11,83 1,53	21,48* 2,95	2,40 0,54	0,29 0,37	0,88 0,39	4,89 2,31	525 230	688 448	125 58	372 381
IIIa	25	1,70 0,49	0,13 0,04	1,73 0,72	10,08 1,65	18,87 2,38	1,73 0,47	0,94 0,45	1,65* 0,43	8,71 2,72	408 155	561 329	424 241	850 474
IIIb	15	1,67 0,45	0,11 0,03	1,93 0,52	11,33 1,12	17,39 1,84	2,35 0,42	1,14 0,36	2,23* 0,52	10,82 2,13	512 192	774 397	340 77	1.026 453
IV	5	1,78 0,56	0,16 0,05	1,56 0,54	10,47 1,69	14,25 1,75	1,64 0,32	2,12* 0,12	2,95* 0,56	16,80* 2,74	399 42	1.115 584	744* 108	1.286 497
V	6	1,76 1,16	0,06 0,03	2,59 0,25	11,32 0,54	18,98 1,52	1,16 0,28	2,74* 0,34	1,34* 0,70	10,34 2,30	254 81	345 308	656* 177	917 275
VI	4	1,59 0,31	0,17 0,05	5,81* 0,29	6,44 0,55	16,72 2,11	1,60 0,45	1,48 1,42	0,83 0,18	16,56* 1,82	485 287	345 167	8087* 1.242	2338* 494
VII	2	1,91 0,09	0,17 0,01	0,69 0,49	9,44 0,25	14,08 0,42	0,87 0,31	0,33 0,00	4,49* 0,22	21,25* 1,53	334 5	674 514	1130* 613	2450* 2.218
VIII	1	1,28 -	0,11 -	2,98 -	8,73 -	19,97 -	2,11 -	8,37 -	0,83 -	5,88 -	334 -	423 -	154 -	1.494 -
u		%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm

Tabla 2. Concentraciones medias y desviaciones típicas de los elementos químicos analizados para los distintos grupos mineralógicos (u: unidades; %: tanto por cien en peso, ppm: partes por millón, mg kg^{-1}; *: diferencias significativas para α: 0,05)

Los resultados indican que la combinación de análisis mineralógico y elemental aumenta el nivel de detalle sobre la composición de las cerámicas. La mineralogía describe la fase cristalina de la cerámica, que en reglas generales está dominada por la señal del desgrasante, mientras que la composición elemental atañe a la composición total de la cerámica, incluyendo el desgrasante pero también las fases no cristalinas, (minerales no cristalinos de la arcilla, óxidos amorfos y la fracción orgánica).

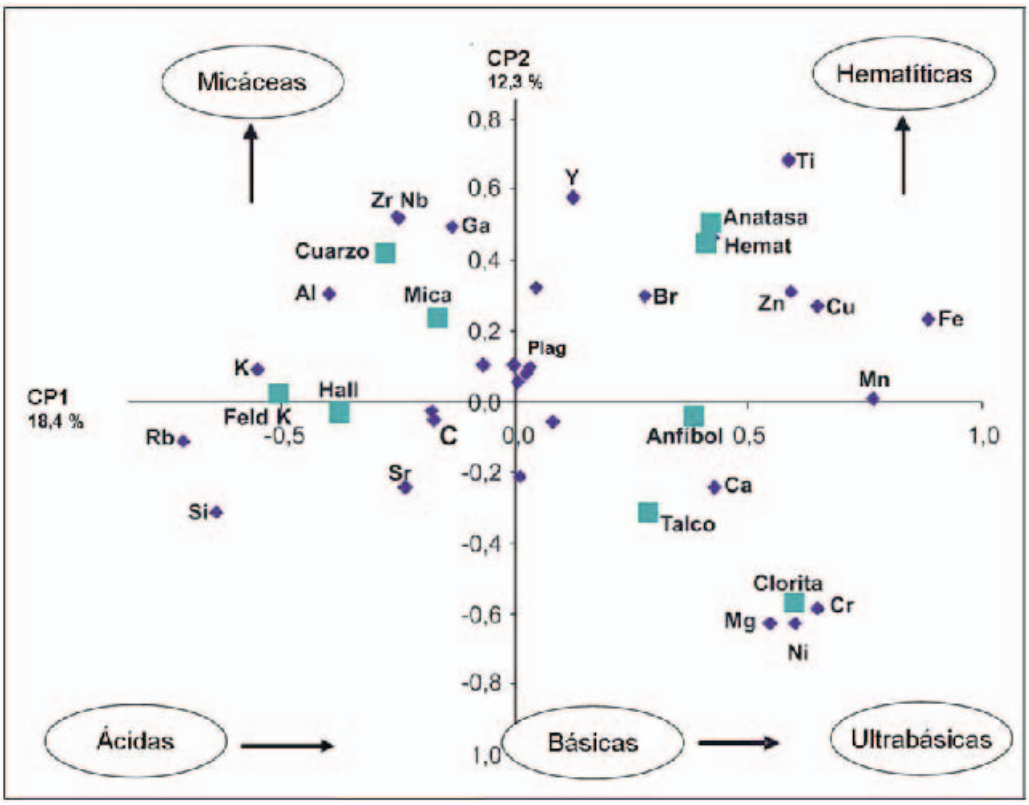


Figura 3. Análisis factorial: proyección en el 1er y 2º componente de minerales y elementosquímicos.

El *color*

El color es una variable que, si se cuantifica, puede ayudar a una mejor caracterización de la cerámica. Los parámetros que se determinan son las tres componentes en las que se desglosa el color: L*, la luminosidad; C*, la saturación y h, el tono o matiz. El conjunto de cerámicas analizadas son pardo-oscuras oscilando entre colores rojizos y amarillentos de saturación variable y tonos generalmente apagados, existiendo también una veintena de cerámicas de color negro.

En una descripción general de los resultados (Tabla 3) en función de los grupos geoquímico-mineralógicos se aprecia cómo la luminosidad no manifiesta una tendencia definida. No obstante, el tipo mineralógico VIII (piroxenítico) sí es más oscuro que la globalidad de las piezas (L* 57,6). La saturación, C*, no presenta diferencias significativas entre tipos, aunque hay un incremento paulatino de saturación a medida que la composición mineralógica es más básica. En cuanto al matiz, h, tampoco se aprecian diferencias significativas; pero existe una tendencia a tonos más amarillentos en los grupos I, II y III y más rojos en los otros grupos. Así, a pesar de constatar que no hay diferencias significativas para los parámetros de color entre los tipos geoquímico-mineralógicos, sí se aprecia una tendencia general a que los tipos de composiciones alcalinas y calcoalcalinas sean más apagados y amarillentos y los tipos de composiciones más básicas y metálicas tengan colores más vivos y rojizos. Esta falta de relación clara, a pesar de la tendencia general, se debe muy probablemente a que además de la composición geoquímico-mineralógica hay otros factores que influyen en el color de la cerámica, como pueden ser el tamaño de partícula dominante, la cristalinidad, la forma química del elemento, las condiciones de cocción, etc.

GRUPO M	N	L*	C*	h
Ia	5	38,74 12,21	20,76 14,23	67,33 7,02
Ib	3	31,02 9,61	16,03 9,43	71,21 2,14
IIa	12	36,97 8,15	20,34 10,41	69,33 4,33
IIb	21	35,88 8,34	19,24 9,92	69,89 5,73
IIIa	25	35,77 5,86	24,65 7,78	64,79 5,60
IIIb	15	38,67 5,51	28,79 6,81	65,15 6,02
IV	5	39,65 6,62	31,73 4,20	62,86 6,08
V	6	34,98 10,35	21,25 8,45	67,33 0,79
VI	4	35,14 3,36	25,22 3,15	64,22 4,00
VII	2	33,13 5,20	30,09 6,92	58,57 1,20
VIII	1	57,62 –	24,44 –	73,16 –

Tabla 3. Valores medios y desviaciones típicas de los parámetros del color según los grupos mineralógicos.

En cuanto a la relación de los parámetros de color entre sí, en la Figura 4 se ha representado la luminosidad frente a la saturación y ésta última frente al matiz, para el conjunto de las muestras. Aunque hay bastante dispersión, en general un aumento de la saturación va acompañado de un aumento en la luminosidad (Figura 4A): a medida que los colores pasan de oscuros a claros se va incrementando la vivacidad, es decir, hay una transición de colores oscuros-grisáceos a claros-vivos. En la gráfica inferior, Figura 4B, se aprecia que al aumentar el matiz disminuye la saturación. Al aumentar el matiz (tránsito del rojo al amarillo) los colores se van apagando, o lo que es lo mismo, los de tendencia roja son más vivos y los de tendencia amarilla son más apagados.

Para estudiar en más detalle la relación entre color y composición de las cerámicas se incorporaron los parámetros del color en el análisis estadístico. Ésta es otra ventaja de la cuantificación del color, que permite tratarlo como una variable continua e integrarla en los estudios multivariantes. En la proyección de

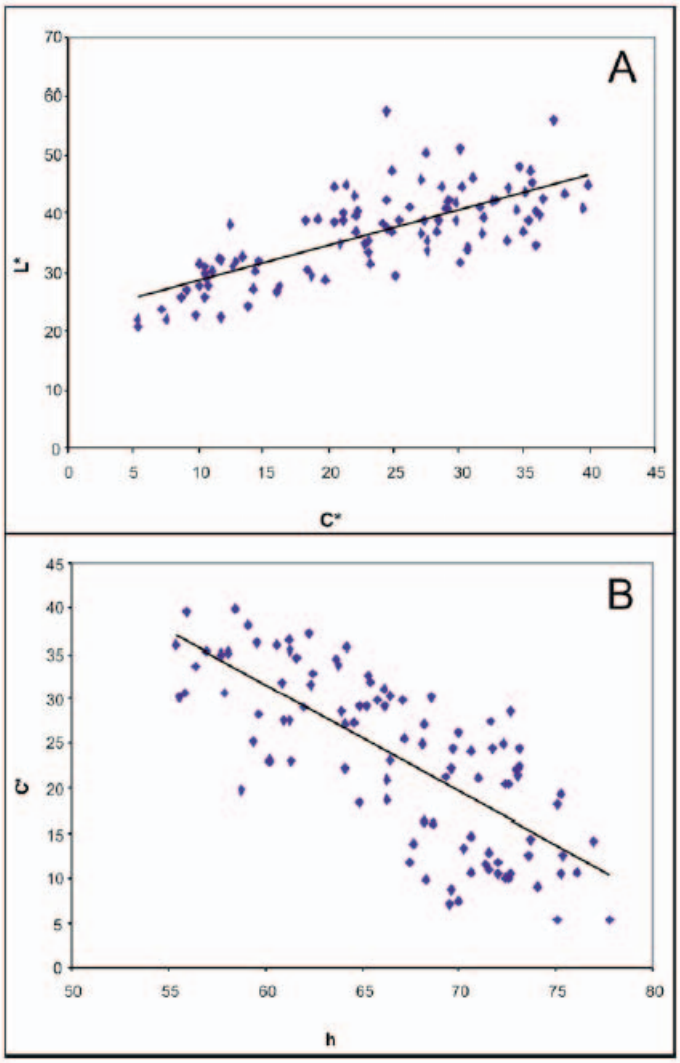


Figura 4. Relaciones entre los parámetros del color.
A: correlación entre la saturación, C* y la luminosidad, L*. B: correlación entre el tono, h y la saturación, C*.

componentes principales, primera y segunda (17,9% y 12,0% respectivamente, Figura 5) se aprecia cómo el matiz aparece ligado a minerales y elementos típicos de composiciones más ácidas, mientras que la saturación está ligada a las composiciones más básicas (elementos metálicos, como titanio, zinc, cobre, hierro y manganeso y minerales como la hematita, anatasa, anfíbol, etc.). Esto sugiere una transición de bajas saturaciones y colores pardos hacia altas saturaciones y colores más rojizos a lo largo del primer componente principal, es decir, en el rango de materiales de ácidos a básicos. La luminosidad se asocia al carbono en el tercer componente principal. Interpretando esta información como variaciones del color, podemos decir que el croma depende fundamentalmente del contenido en hierro y otros elementos metálicos, que producen un color más fuerte y vivo. En el lado opuesto, la mayor abundancia de minerales leucocráticos (composiciones más ácidas) provoca un efecto amarilleante, al aumentar el matiz. Finalmente, la luminosidad de las cerámicas depende principalmente del contenido de carbono, que parece estar relacionado con un efecto oscurecedor.

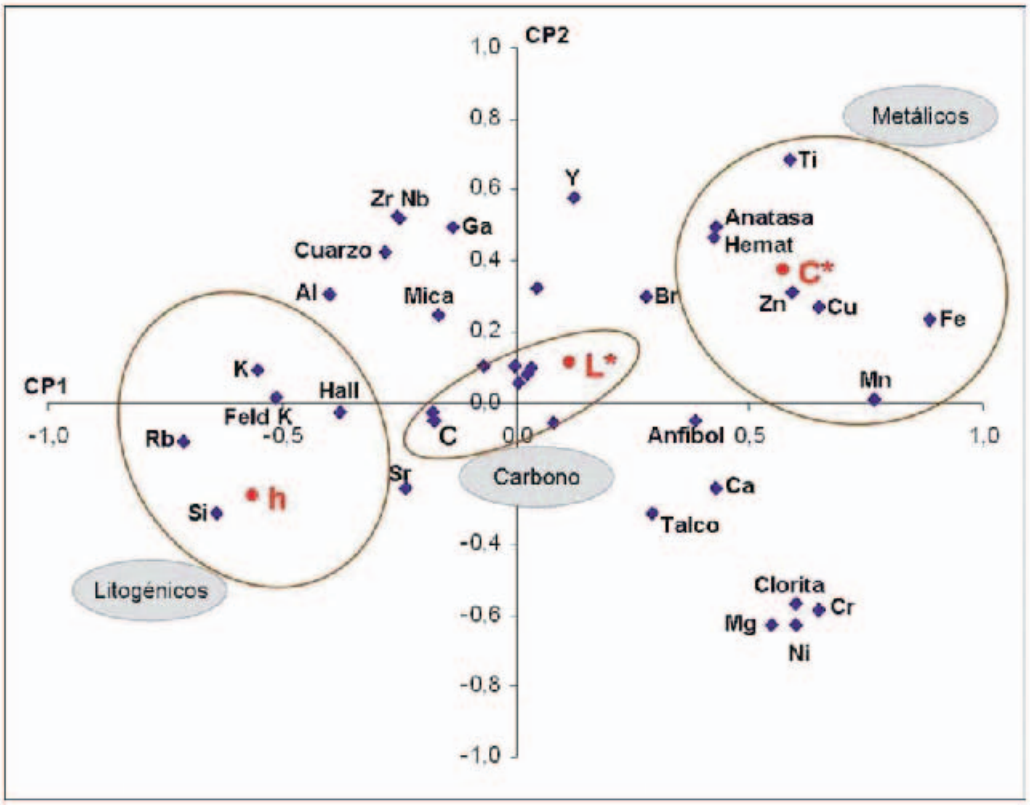


Figura 5. Análisis factorial: proyección en el 1º y 2º componente de minerales, elementos químicos y parámetros del color.

La tendencia al desarrollo de color rojo (primer componente principal) de las cerámicas se correlaciona bien con la concentración de hierro. La correlación entre las puntuaciones del primer componente principal y la concentración de hierro es muy significativa (r^2 0,78, $p<0.01$) (Figura 6). Como ya hemos mencionado, el primer componente principal representa la transición entre composiciones félsicas, con colores amarillentos apagados, a composiones máficas con colores rojos más intensos. Así pues, este resultado indica que el desarrollo de color rojo se debe a la abundancia de minerales ricos en hierro. La presencia de minerales claros (como el cuarzo y los feldespatos) también influye, pues son pobres en hierro y contribuyen al aclarado/amarilleamiento del color de los recipientes cerámicos estudiados.

Otra de las relaciones que se entrevé en el análisis factorial es la del carbono con laluminosidad, L*. En la Figura 7 se puede apreciar cómo las cerámicas negras son las de menor valor de L* y, a su vez, poseen un contenido de carbono superior al 2,5%. Esta relación entre carbono y color negro plantea la cuestión de cuál es la relación entre ambos. En los suelos ácidos del área de estudio, el color negro de los horizontes superficiales está relacionado con la presencia del materia orgánica y, por tanto, con elevadas concentraciones de carbono. Pero, aunque se hubieran utilizado estos horizontes como fuente para las pastas, esta relación es poco probable que se mantuviese en las cerámicas ya que la cocción en medio oxidante habría volatilizado el carbono en forma de CO_2; por otro lado, el estudio mineralógico descarta la presencia de fuentes inorgánicas de carbono. Sin embargo, las relaciones C/N de las cerámicas negras son muy elevadas (>20) lo cual apunta a la posibilidad de que el color negro se deba a la adición de carbón vegetal finamente molido. Por otro lado, algunas cerámicas con valores bajos de L* tienen también bajos contenidos de C, por lo que en algunos casos el desarrollo de color negro podría estar relacionado con otros componentes.

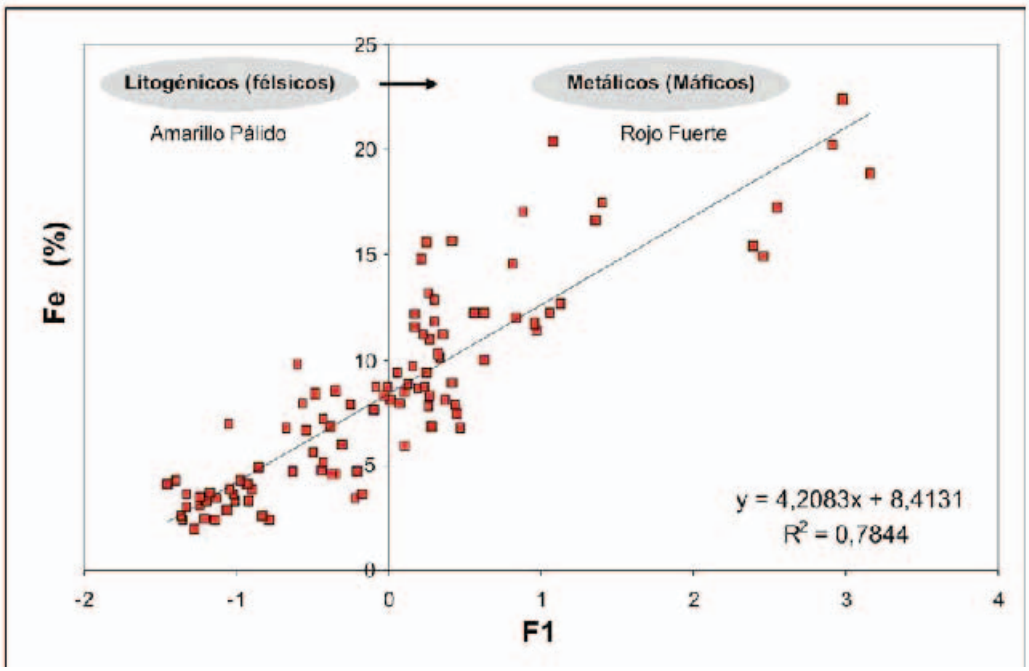


Figura 6. Relación entre la concentración de hierro y el primer componente principal del análisis factorial.

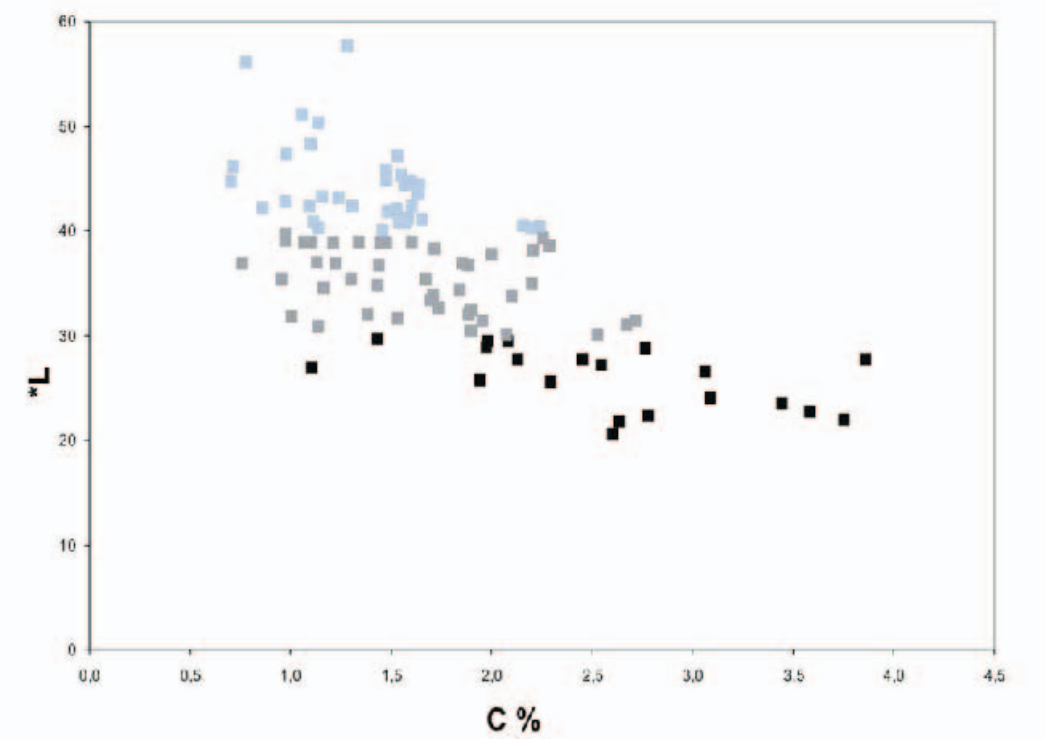


Figura 7. Relación entre la concentracion de carbono y la luminosidad (L*) de las cerámicas.

CONCLUSIONES

La caracterización geoquímica de las cerámicas de tres yacimientos arqueológicos del área Ulla-Deza, muestra una transición de cerámicas ricas en elementos como el Si, K, Al, Rb hacia otras más ricas en elementos metálicos como Ti, Zn, Cu, Mn, Fe y hacia otras, más excepcionales, ricas en Mg, Ni y Cr. Esta composición elemental presenta una alta coherencia con la mineralogía analizada en un estudio previo y se ajusta a los tipos mineralógicos descritos.

El estudio de la composición elemental es complementario del mineralógico y más globlal, pues mientras que la mineralogía aporta información esencialmente de la fracción desgrasante, la composición elemental atañe a la totalidad de la pasta, el desgrasante, la arcilla e incluso la fracción orgánica, por lo que la combinación de ambos permite extraer más información y de mayor detalle.

De modo general, se observa que no hay relación directa entre los grupos mineralógico-geoquímicos definidos y los tipos cerámicos, su cronología y su contexto. La preparación de la materia prima no varía significativamente a lo largo de la prehistoria en Galicia, contrastando con los cambios estilísticos observados. Esto refuerza los resultados obtenidos en el estudio mineralógico previo (Martínez, Lantes y Prieto, 2008).

El análisis cuantitativo del color reveló que las cerámicas estudiadas presentan una transición de colores de pardo-amarillentos apagados a rojizos vivos, en cierta consonancia con los grupos geoquímico-mineralógicos, de composiciones ácidas a básicas/ultrabásicas. El paso de los colores parduzcos a los rojizos está fuertemente influido por la transición de mineralogías ácidas a las básicas, con el enriquecimiento en elementos metálicos —en particular con el contenido en hierro— y el empobrecimiento en elementos alcalinos/alcalinotérreos.

La luminosidad, en especial en las cerámicas de color negro o muy oscuro, está relacionada con la presencia de carbono —al aumentar la concentración de carbono disminuye la luminosidad—. Dadas las propiedades de estas cerámicas (en particular las elevadas relaciones C/N), creemos que es muy probable que el color negro responda a la presencia de carbón vegetal finamente molido.

La obtención de colores extremos —rojos y negros—, que implica una fase de elaboración más compleja y un mayor esfuerzo, varía según los contextos y períodos. En el contexto funerario se observa una selección de tonos rojos en el Bronce Inicial, y de negros en el Bronce Final, en las formas más estandarizadas (1 olla y 2 longobordos). En el Neolítico los colores extremos son excepcionales. En contextos domésticos no existe una selección tan acusada del color en el Bronce Inicial y hay una gran variabilidad en el Neolítico (no hay datos para el Bronce Final). En el contexto ceremonial —que se ciñe a la época campaniforme— se constata una gran variabilidad cromática.

Los resultados obtenidos abren buenas expectativas para obtener información sobre la tecnología empleada en la fabricación de estas cerámicas y sobre su procedencia. Pero también creemos que otras técnicas analíticas aplicadas a las cerámicas (análisis isótópicos, estudio de tierras raras, estudio de biocomponentes de la materia orgánica) y de los materiales geológicos del área de trabajo, podrían ser de gran ayuda.

En próximos trabajos se procederá a correlacionar estos resultados arqueométricos con aspectos formales de las cerámicas, que permitan analizar aspectos tecnológicos (tipo de pastas y materiales empleados), procedencia de las cerámicas, significado contextal, etc.

BIBLIOGRAFÍA

ABOAL FERNÁNDEZ, R.; AYÁN VILA, X.; CRIADO BOADO, F.; PRIETO MARTÍNEZ, M.P. Y TABARÉS DOMÍNGUEZ, M. 2005: "Yacimientos sin estratigrafía: Devesa do Rei, ¿un sitio cultual de la Prehistoria Reciente y la Protohistoria de Galicia?". *Trabajos de Prehistoria* 62 (2): 165-180.

ABOAL FERNÁNDEZ, R.; BAQUEIRO VIDAL, S.; CASTRO HIERRO, V.; PRIETO MARTÍNEZ, M.P. Y TABARÉS DOMÍNGUEZ, M. 2004-2005: "El yacimiento del III milenio BC de Zarra de Xoacín (Lalín, Pontevedra)". *Lancia* 6: 37-58.

ANDRÉS, A.M.; MENÉNDEZ, P. & MUÑOZ, I. 1993: "Estudio arqueométrico de cerámicas prehistóricas gallegas". En *El Cuaternario en España y Portugal. Instituto Tecnológico Geominero de España*: 357-67. Madrid.

GUITIÁN RIVERA, F. & VÁZQUEZ VARELA, J.M. 1981: "Sobre la tecnología de la cerámica castreña: determinación de la temperatura de cocción", *Arqueologia* 4: 89-93.

IRUJO RUÍZ, D.J. Y PRIETO MARTÍNEZ, M.P. 2005: "Aplicaciones del 3D en cerámica prehistórica de contextos arqueológicos gallegos: Un estudio sobre percepción visual" *Arqueoweb* 7 (2).

MAÑANA BORRAZÁS, P. 2003: "Vida y muerte de los megalitos. El abandono en estructuras funerarias". *Era Arqueologia* 5: 164-177.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; LANTES SUÁREZ, Ó. Y PRIETO MARTÍNEZ, M.P. 2008 (en prensa): "Análisis Arqueométrico de la Cerámica prehistórica del Área Ulla-Deza". En M.P. Prieto-Martínez, F. Criado-Boado y A. Rodríguez Costas (Coords.): *Autopista al pasado. Arqueología y paisaje en la ACEGA, entre Santiago y el Alto de Santo Domingo.* Traballos de Arqueoloxía e Patrimonio, 37. Santiago de Compostela.

MILLER, D. 1985: *Artefacts as categories. A study of ceramic variability in Central India.* Cambridge University Press (New Studies in Archaeology). Cambridge.

PRIETO MARTÍNEZ, M. P. 1993: *Aproximación al análisis formal de la cerámica de la Edad del Bronce en Galicia.* Traballo de Investigación do Tercer Ciclo. Inédito. Santiago de Compostela.

PRIETO MARTÍNEZ, M.P. 1999: "Caracterización del estilo cerámico de la Edad del Bronce en Galicia: cerámica campaniforme y cerámica no decorada". *Complutum,* 10: 71-90.

PRIETO MARTÍNEZ, M.P. 2007: "Volviendo a un mismo lugar. Recipientes y espacios en un monumento megalítico gallego (NW de España)". *Revista Portuguesa de Arqueología* 10 (2): 101-125.

PRIETO MARTÍNEZ, P.; BLANCO ROTEA, R.; ABOAL FERNÁNDEZ, R.; AYÁN VILA, X.; CRIADO BOADO, F. 2002: "El tratamiento del Patrimonio Cultural desde una metodología arqueológica en obras de trazado lineal: la construcción de la autopista Santiago-Alto de Santo Domingo (Galicia) como ejemplo". En *Ponencias y Comunicaciones, I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente (Madrid, 13 al 15 de febrero de 2002),* tomo I: 647-68. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

PRIETO MARTÍNEZ, M.P.; JUAN-TRESSERRAS, J. & MATAMALA J.C. 2005: Ceramic Production in the North-Western Iberian Peninsula: Studying the functional features of pottery by analyzing organic material". En M.I. Prudêncio, M.I. Dias & J.C. Waerenborgh (eds.). *Proceedings of the 7th European Meeting on Ancient Ceramics- Understanding people through their pottery (Lisboa 2003)*. Trabalhos de Arqueologia 42: 193-199. Lisboa.

R.A.E. 2001: *Diccionario de la Real Academia Española. Voz color (1).* http://buscon.rae.es/draelSrvltGUIBusUsual?TIPO_BUS=3&LEMA=color (Consulta del 2 de septiembre de 2007).

REY CASTIÑEIRA, P. & SOTO ARIAS, P. 2002: "Estudio Preliminar del análisis físico-químico aplicado a la cerámica castreña: Vertiente atlántica gallega". *Gallaecia* 21: 159-76.

ROCK, I. 1985: *La percepción.* Editorial Labor. Barcelona.

TABOADA, M.T.; CARREÑO GASCÓN, M.C. & GUITIÁN RIVERA, F. 1994: "Mineralogía y condiciones de cocción de la cerámica del Castro de Saceda (Orense)". En J.F. Jordá (ed.). *Geoarqueología. Actas de la 2ª Reunión Nacional de Geoarqueología* (Madrid 1992): 391-97. Madrid.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS DE ALFARES DE ÉPOCA CELTIBÉRICA DEL SISTEMA IBÉRICO CENTRAL

CHARACTERIZATION OF THE CERAMIC MATERIALS FROM CELTIBERIAN POTTERY WORKSHOPS IN THE CENTRAL IBERIAN CHAIN

Mª ESPERANZA SAIZ CARRASCO[1], FRANCISCO BURILLO MOZOTA[1], JESÚS IGEA ROMERA[2], PILAR LAPUENTE MERCADAL[2], JOSEFINA PÉREZ-ARANTEGUI[3]

(1) Facultad de Ciencias Sociales y Humanas (Teruel). Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza. Ciudad Escolar, s/n. 44002 Teruel. E-mail: mesaiz@unizar.es, faburillo@yahoo.es
(2) Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias (Geología). Universidad de Zaragoza.
(3) Departamento de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

RESUMEN

En este estudio se presenta el planteamiento metodológico desarrollado para la investigación de alfares celtibéricos del Sistema Ibérico Central y la creación de los grupos de referencia de las producciones cerámicas fabricadas en estos yacimientos. En concreto, se defiende un tratamiento integrado en varios niveles de información (análisis tipológico y multivariante, estudio de las decoraciones y acabados y caracterización arqueométrica), a partir de la aplicación de diferentes técnicas de análisis. Con los primeros resultados obtenidos, queda validada esta metodología ya que responde a los problemas planteados en nuestra investigación y nos ha permitido discriminar las producciones cerámicas de cada alfar a partir de la caracterización de sus pastas, formas y decoraciones, así como ampliar nuestro conocimiento sobre los procesos tecnológicos que intervienen en la fabricación de estas cerámicas celtibéricas.

ABSTRACT

This paper presents the methodological developments applied to the research of Celtiberian pottery worskshops in the Central Iberian Chain and describes the typological sets established for the ceramic productions retrieved from these sites. An integral approach is adopted, incorporating various levels of information derived from different forms of analysis —typological, multivariate, the study of decoration and textures, and archaeometric characterisation. Preliminary results confirm the validity of this methodology, insofar as the questions asked during the research have found an answer and we have been able to link ceramic productions with individual workshops based on texture, forms, and decoration. In addition, we have improved our understanding of the technological processes that were involved in the production of Celtiberian pottery.

Palabras clave: cerámica celtibérica, alfares, Sistema Ibérico, espectrofotometría, microscopía óptica, difracción de Rayos-X (DRX), análisis morfométricos, ICP-AES, granulometría, ensayos mecánicos.

Key words: *Celtiberian pottery, pottery workshops, Central Iberian Chain, spectrophotometry, Optical Microscopy, X-Ray Diffraction (XRD), Morphometrical analysis, ICP-AES, granulometry, mechanical tests.*

I. INTRODUCIÓN

Hasta hace relativamente pocos años el interés de los investigadores por el material cerámico, había estado centrado en definir sus características morfológicas y decorativas, para poder establecer tipologías que ayudasen a fijar cronologías en los yacimientos arqueológicos. Sin embargo, en el momento en que se ha comenzado a prestar atención sobre la tecnología de fabricación de las cerámicas, la materia prima empleada, etc. se ha producido un cambio tendente al conocimiento de las cerámicas desde sus centros de producción, es decir, los alfares, para después estudiar su posible dispersión y distribución en otros yacimientos del territorio.

Por tanto, en los últimos años estamos asistiendo a un crecimiento de los estudios sobre la alfarería prerromana. Sin embargo, a pesar de este cambio de tendencia, siguen existiendo grandes lagunas en la investigación arqueológica sobre este tema, y en particular, sobre los alfares prerromanos del ámbito celtibérico.

Así queda demostrado al observar que todavía se desconoce dónde se ubican los centros de producción que fabrican las cerámicas celtibéricas mejor conocidas como las numantinas. En este caso, a partir de los estudios arqueométricos realizados, se han caracterizado cuatro producciones diferentes de origen local, quedando como tarea pendiente la localización del alfar o alfares donde se fabricarían dichas producciones (García Heras, 1998).

Este ejemplo evidencia cómo en todo este proceso de cambio la introducción de los análisis arqueométricos ha sido fundamental y se consideran una línea básica de investigación para el mejor conocimiento de la cerámica en la antigüedad.

Por este motivo, la importancia del análisis de los materiales de los alfares del Sistema Ibérico radica en la procedencia de los mismos, ya que por primera vez, se va a establecer las características tipológicas y físico-químicas de las cerámicas celtibéricas, desde los propios centros productores y no desde los asentamientos receptores de estos productos, con los problemas añadidos que este hecho planteaba *a posteriori.*

En el territorio del Sistema Ibérico Central (Figura 1) se han documentado, hasta el momento, 12 alfares de época celtibérica de los cuales sólo se han realizado excavaciones sistemáticas en dos. Por tanto, la mayoría son yacimientos inéditos que no han sido objeto de ningún estudio.

De Norte a Sur los yacimientos trabajados son: La Oruña (Trasmoz-Vera de Moncayo, Zaragoza), Mojón de Ibdes II (Monterde-Llumes, Zaragoza), Modojos II (Codes, Guadalajara), La Rodriga (Fuentelsaz, Guadalajara), Barranco de la Cañada (Torralba de los Frailes, Zaragoza), Allueva II (Allueva, Teruel), Cerrá la Viña I (Allueva, Teruel), Hortezuelas III (Ablanque, Guadalajara), Las Veguillas (Camañas, Teruel), Las Tejedas (Orihuela del Tremedal, Teruel), Los Vicarios (Valdecebro, Teruel) y Los Escobares (Valdecebro, Teruel).

Los materiales analizados proceden de los trabajos de prospección microespacial realizados recientemente en cada uno de estos yacimientos con la finalidad de identificar las características de cada complejo alfarero, la distribución espacial de las diferentes áreas funcionales (testar, hornos, almacén, etc.) y establecer la producción cerámica, así como el momento de funcionamiento del taller.

Una vez establecidas y caracterizadas las producciones cerámicas de cada uno de los alfares, el objetivo será el de comparar con vasijas procedentes de otros asentamientos, necrópolis o yacimientos con otra funcionalidad específica para poder conocer las formas completas de estos alfares y determinar el

área máxima de dispersión de cada una de estas producciones, así como las vías de comunicación más accesibles para su salida. A partir de estos datos intentaremos aproximarnos a las relaciones comerciales y económicas prerromanas, ya que el fin último de la aplicación de toda esta metodología es poder construir una interpretación histórica en esta materia.

La cronología de estos centros es similar, centrada en los siglos III-II a.C., con probable inicio a finales del IV a.C. y perduración hasta el I a.C. El hecho de caracterizar materiales cerámicos diacrónicos nos permitirá ver si existe una evolución o cambios en la tecnología de fabricación de estas vasijas.

A continuación expondremos las principales líneas metodológicas desarrolladas para el estudio de los alfares celtibéricos del Sistema Ibérico, prestando especial atención al establecimiento de las producciones cerámicas de cada yacimiento y el papel determinante del estudio arqueométrico dentro de ese proceso, en combinación con otros factores.

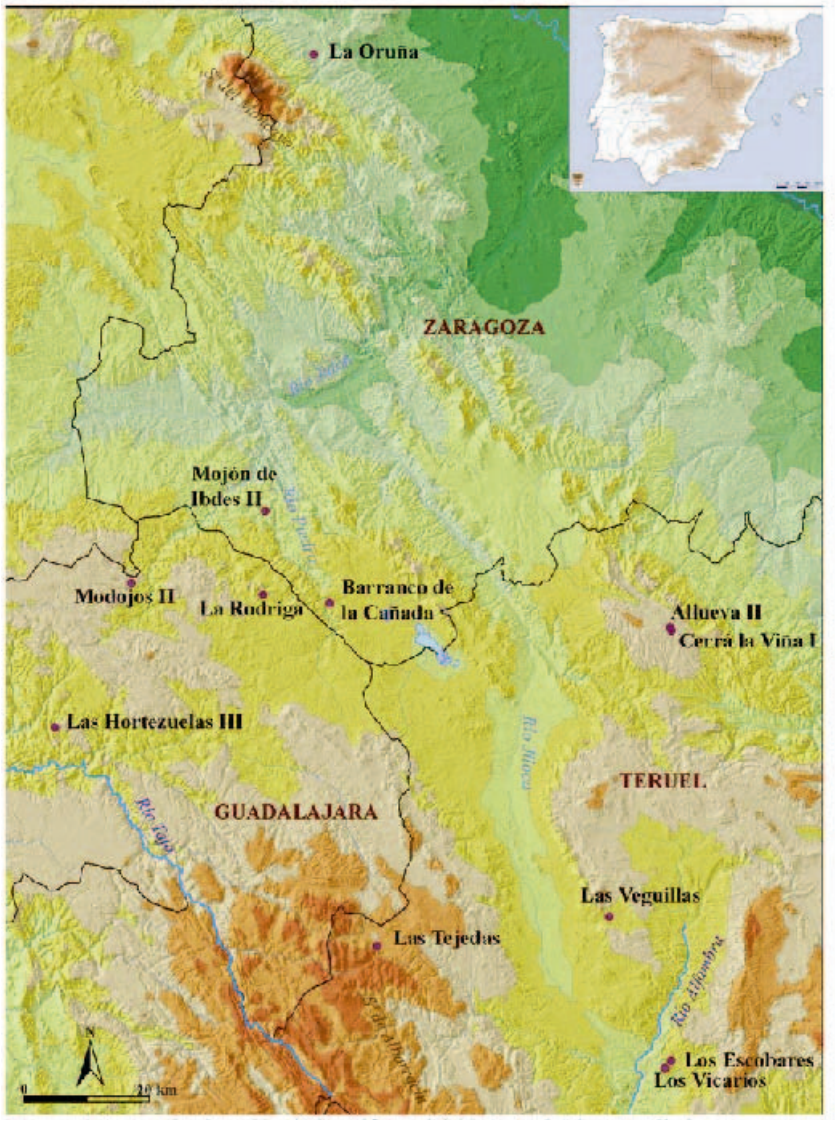


Figura 1. Mapa de situación de los alfares del Sistema Ibérico estudiados.

II. ESTABLECIMIENTO DE LAS PRODUCCIONES CERÁMICAS

La producción cerámica identifica unos productos cerámicos con unas características comunes en sus pastas, formas y decoraciones/acabados. La vinculación del objeto cerámico con su lugar de fabricación se considera el objetivo de la descripción cerámica, a la que quedan supeditados el resto de elementos.

Por tanto, en el modelo de estudio aplicado a los alfares celtibéricos se realiza un análisis integrado que consta de varios niveles y que aúna cada una de esas características, que tratadas de forma aislada difícilmente nos permiten discriminar diversas producciones cerámicas[1].

En cuanto a los distintos grupos de cerámicas localizadas se distinguen, principalmente, por la técnica de fabricación. En el caso de los alfares del Sistema Ibérico, todos los fragmentos analizados pertenecen al grupo de la cerámica fina. Empleamos este término acuñado por H. Bonet y C. Mata (1992) en sustitución de "técnica ibérica" (Burillo, 1980: 202) utilizado con anterioridad para definir las características producciones celtibéricas de cerámicas de pastas oxidantes anaranjadas, realizadas a torno y con factura cuidada, y por tanto, realizadas de forma casi industrial.

El motivo es la confusión que en determinados casos puede plantear el término de "ibérica" en el sentido de que se entiende como un etnónimo referido a cerámicas realizadas por pueblos íberos.

Estudio tipológico/funcional

En primer lugar se describen cada uno de los fragmentos cerámicos en una ficha normalizada en Filemaker Pro 5.5. realizada por Clemente Polo, siguiendo criterios formales relativos a las características de los fragmentos como dirección y forma del borde.

Partiendo del estudio de las características comunes de los fragmentos se ha establecido una Tipología General, que nos sirve para ordenar las formas cerámicas descubiertas a partir de la tabla de grupos funcionales establecidos en el estudio de la cerámica del Área 3 de Segeda I (Cano *et al.,* 2002): vajilla de almacenaje/transporte, vajilla de servicio, vajilla de mesa, y elementos auxiliares (figura 2). En general, predominan las tinajas sobre el resto de recipientes, aunque también se documentan vasijas globulares, tinajas tipo *ilduratin,* soportes, jarras/enocoes, vasos caliciformes, vasos crateriformes, botellas, cuencos, copas, e incluso bolas de cerámica, fusayolas y *pondus.*

Análisis multivariantes

A partir de estudios etnográficos sobre alfares contemporáneos se ha comprobado que es común la división de la arcilla en trozos (González, 1989:119; Burillo, 1983), que se corresponden con la cantidad exacta de barro necesaria para la vasija que se vaya a realizar. Por tanto, queda meridianamente claro que este control absoluto del trabajo del barro, además de ser fruto de la experiencia adquirida, es consecuencia de la gran estandarización a la que se encuentran sometidas las piezas cerámicas.

Por tanto, partimos del hecho de que solamente con las observaciones *de visu* es muy difícil atribuir una producción a un alfar u otro debido a la gran estandarización de las cerámicas estudiadas que se refleja no sólo en sus formas sino también en la tecnología empleada en su fabricación, ya que al tratarse de cerámicas tan depuradas están sometidas a los mismos procesos. Por este motivo, incluso las características físico-químicas de sus pastas presentan diferencias muy sutiles.

1. Como sintetiza C. Olaetxea (2000: 21) "cualquier aproximación que intente abordar en su conjunto el fenómeno de la cerámica prehistórica deberá tener en cuenta la interacción entre estos tres factores: pasta, o lo que es lo mismo, su materia prima, forma y decoración."

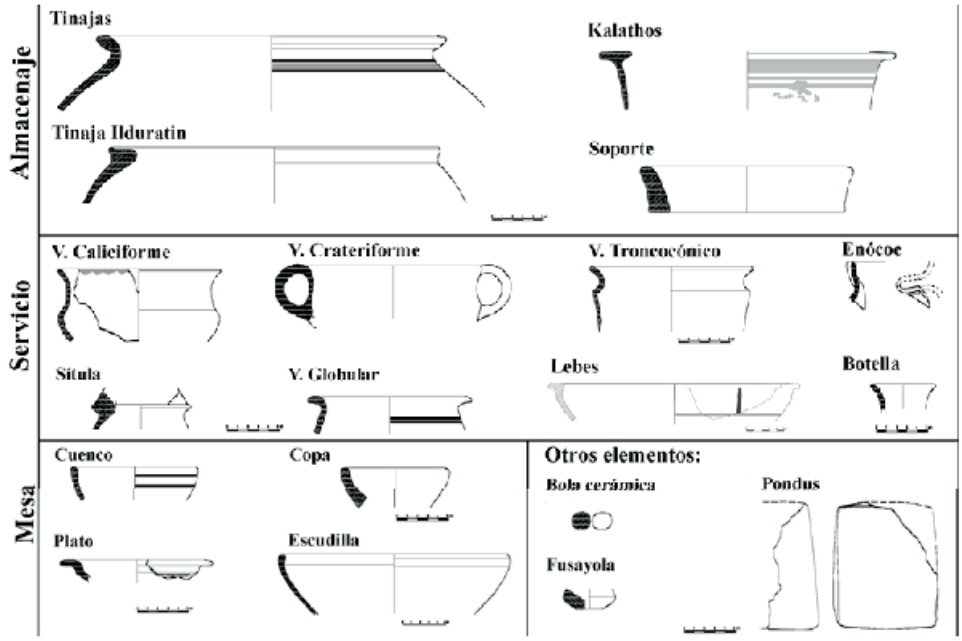


Figura 2. Tabla de las formas cerámicas documentadas en los alfares del Sistema Ibérico.

Para comprobar la viabilidad de este tipo de análisis se está experimentando con una única forma cerámica: las tinajas. Las razones de esta elección se basan, por un lado, en que es la forma representada en todos los yacimientos, y con mayor número de fragmentos dentro de cada alfar. Por otra parte, se trata de una forma cerámica con una funcionalidad clara relacionada con el almacenaje ya sea de líquidos o sólidos. Por tanto, es una vasija que presenta cierta estandarización que, según los análisis de J.C. Calvo (en prensa), puede estar en relación con su volumen y capacidad de almacenaje.

El **objetivo** es caracterizar las formas de cada alfar a partir de las características métricas de los fragmentos de bordes e intentar definir la procedencia de cerámicas de otros yacimientos con una probabilidad de error mínima.

Las variables (11 en total) seleccionadas (Figura 3) nos informan sobre el tamaño y la dirección del labio y del cuello, ya que las medidas se realizan sobre fragmentos[2]. En un primer análisis vamos a operar con las "medidas brutas" tomadas a partir de unos puntos preestablecidos previamente y que serán la base de los posteriores trabajos estadísticos. Debido a que se busca la mayor exactitud para poder encontrar diferencias, que en muchos casos serán mínimas debido al gran dominio del trabajo del torno, las medidas se tomarán en fracciones de milímetros y se han realizado con el programa Autocad 2002.

Las técnicas multivariantes a usar, son los modelos explicativos, concretamente el análisis discriminante. El objetivo esencial del análisis discriminante es utilizar los valores conocidos de los fragmentos cerámicos (variables independientes cuantitativas [a1, a2, a3, B, C, D, E, F, G1, G2, DB]) para predecir a qué alfar pertenecen (variable cualitativa).

Con la aplicación de este tipo de análisis a las cerámicas de los alfares del Sistema Ibérico Central, esperamos contar con un criterio más que nos permita discriminar las producciones de los diferentes alfares en combinación con los análisis arqueométricos, las decoraciones, y la tipología cerámica.

2. El desarrollo de los criterios de medición ha sido realizado con la ayuda del Dr. Jesús Picazo Millán a partir de su experiencia sobre cálculos similares aplicados a los bordes de cerámica a mano del II milenio a.C. del Sistema Ibérico Central.

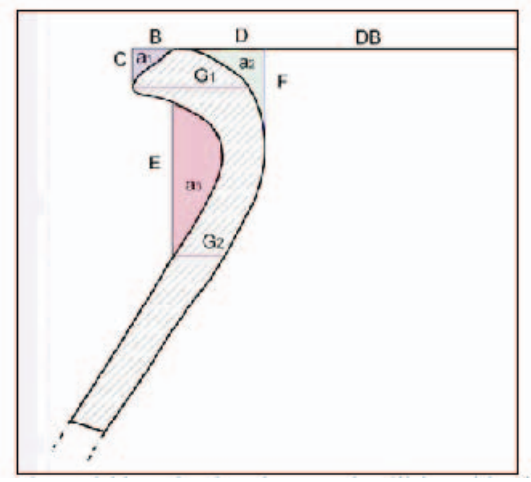


Figura 3. Variables seleccionadas para el análisis multivariante.

Decoración

Se analizan tanto los aspectos técnicos (modo de aplicación de la decoración, con qué tipo de instrumentos: pincel múltiple, compás, punzones, etc.) como los estilísticos (los motivos representados ya sean geométricos, vegetales o figurados y los colores empleados).

En el caso de los alfares del Sistema Ibérico la decoración empleada es la pintura aplicada directamente sobre la superficie de las vasijas o sobre el engobe, utilizando los colores marrón, rojo y negro. Solamente en el alfar de La Rodriga (Fuentelsaz, Guadalajara) hemos documentado decoración impresa en varios fragmentos.

III. ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO

El análisis arqueométrico se ha realizado a partir de un total de 42 fragmentos de cerámica, así como de 16 muestras de sedimentos arcillosos del entorno de los yacimientos. Los principales objetivos que se persiguen en este estudio son los siguientes:

- Caracterizar las diferentes pastas cerámicas desde un punto de vista mineralógico, textural y químico, con el propósito de crear grupos de referencia de cada alfar.
- Identificar los procesos tecnológicos que intervienen en la manufactura de las piezas cerámicas, para poder reconstruir la secuencia de producción llevada a cabo en cada uno de los centros alfareros investigados.
- Determinar las características de la materia prima empleada en la manufactura de las piezas y su origen.
- Comparar entre sí los grupos de referencia de cada alfar y relacionarlos con los centros receptores para establecer así la procedencia y distribución de cada producción alfarera.

Muestras seleccionadas

Cerámicas

Previo a la caracterización arqueométrica, se ha realizado una descripción y clasificación macroscópica de las muestras cerámicas, con objeto de establecer grupos representativos, partiendo de criterios des-

criptivos como son color, cocción, dureza, tacto, textura e inclusiones y que han sido desarrollados por C. Orton (Orton *et al.,* 1997: 260-271) y M. P. Lapuente (Perez *et al.,* 1996: 10- 24).

De los grupos macroscópicos establecidos en cada alfar, se han seleccionado al menos 3 muestras cerámicas dando preferencia a la pasta con mayor representación porcentual dentro de cada yacimiento.

Sedimentos arcillosos

De forma paralela al muestreo cerámico se ha realizado un estudio detallado del entorno geológico de cada yacimiento, desde el punto de vista litoestratigráfico, cartográfico y geomorfológico, para posteriormente llevar a cabo un muestreo sistemático de todas las fuentes potencialmente utilizables como materia prima para la elaboración de cerámica.

Por tanto, se efectuó un muestreo representativo de la materia prima arcillosa presente del entorno de cada uno de los yacimientos en un radio no superior a 5 km. Las muestras se recogieron realizando una cata con una profundidad mínima de 50 cm, abarcando principalmente materiales geológicos de edad terciaria y cuaternaria (Figura 4).

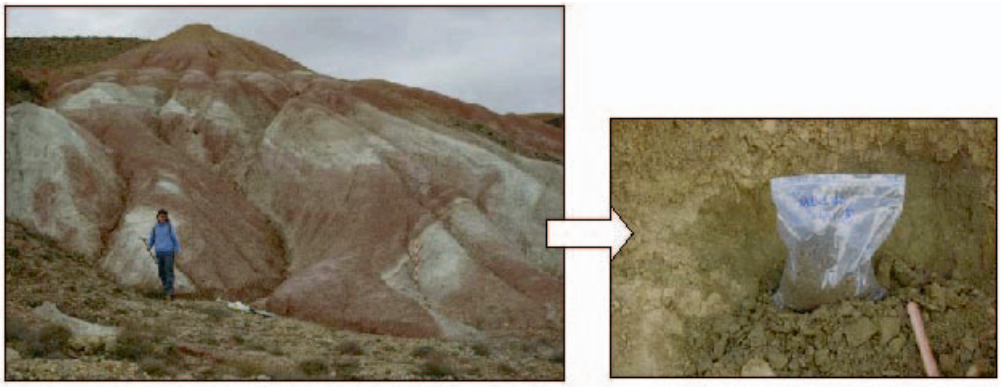


Figura 4. Vista general de una de las áreas seleccionadas para el muestreo de materia prima arcillosa y detalle del material muestreado.

Técnicas analíticas utilizadas

Medida del color

Se ha realizado un estudio detallado del color de los fragmentos cerámicos según parámetros cromáticos CIELAB76 (L*, a*, b*) y su equivalente en código Munsell, mediante un espectrofotómetro Minolta CM-2600d. Las medidas se llevaron a cabo incluyendo superficie externa, interna y fractura una vez seccionada del fragmento cerámico.

El estudio del color aporta información de gran utilidad a la hora de entender los procesos tecnológicos empleados en la manufactura de las piezas cerámicas. Así, las variaciones de color se encuentran estrechamente ligadas a la composición inicial de la materia prima arcillosa y a las condiciones de cocción (principalmente tiempo, temperatura y atmósfera del horno) (Rice, 1987).

Por ello, los valores obtenidos en los fragmentos cerámicos, servirán para compararlos con los adquiridos por las probetas realizadas en los ensayos tecnológicos de los sedimentos arcillosos observando las variaciones que se produzcan debido al aumento progresivo de la temperatura en el proceso de cocción.

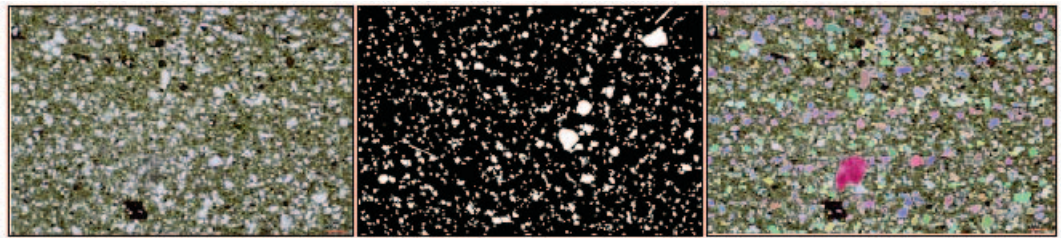
Microscopía óptica de polarización

La caracterización petrográfica se ha realizado con un microscopio óptico de polarización, modelo Olympus AX70 con equipo de microfotografía. Las láminas delgadas se han elaborado con direcciones de corte perpendiculares a los bordes de los fragmentos utilizando, además, la tinción mixta con alizarina roja para la distinción de los carbonatos. El análisis petrográfico permite identificar los granos minerales y fragmentos de roca que constituyen los desgrasantes del producto cerámico, caracterizar texturalmente la muestra, así como observar las características ópticas de la matriz arcillosa, especialmente su birrefringencia, que denota su estado de cristalinidad o de vitrificación resultado del proceso de cocción (Lapuente *et al.,* 1995: 41-54).

Análisis textural mediante tratamiento digital de imágenes

La caracterización textural se ha completado con el tratamiento digital de microfotografías representativas de las pastas, en condiciones de luz polarizada plana y cruzada.

Estas imágenes han sido tratadas con el software informático de análisis *Adimag 1.2.,* elaborado por el Servicio de Tratamiento Digital de Imagen de la Universidad de Zaragoza, que permite realizar la transformación de una primera imagen mediante la aplicación de una serie de parámetros (obtención de máscaras, segmentación, cribado, etc.), hasta obtener la imagen final a partir de la cual se realizan los análisis morfométricos (Figura 5). Los valores obtenidos se recogen en una hoja de cálculo, para su posterior tratamiento y representación gráfica.



(A) (B) (C)

Figura 5. Secuencia del tratamiento digital de imágenes: A) Transformación de una primera imagen, tomada al microscopio óptico mediante la aplicación de una serie de parámetros. B) Obtención de una imagen final (máscara), a partir de la cual se realizan los análisis morfométricos. C) Posibilidad de utilización de las máscaras en otros programas de tratamiento de imagen.

El uso de esta técnica permite discriminar las pastas de cada centro de producción, a través de la diferenciación de su análisis textural (Lapuente *et al.,* 1999: 1835-1846) y su aplicación es de gran utilidad cuando dichas producciones presentan características composicionales similares, como las analizadas en este estudio. Para ello, se ha elegido como prototipo de cada alfar, la pasta más representativa por su abundancia. Cuando en un mismo centro se han observado mediante microscopia óptica texturas muy distintas, se ha realizado el tratamiento en varias muestras.

Difracción de rayos X

Se ha efectuado el análisis mineralógico mediante DRX de todas las muestras cerámicas seleccionadas en los grupos macroscópicos previamente establecidos, de las muestras naturales de material arcilloso, así como de las probetas elaboradas a partir de ellas.

Los registros difractométricos se han obtenido con un equipo BrukerD5005 con ventanas fijas, unas condiciones de trabajo de 40 Kv y 30 mA y utilizando radiación de Cu Kα con monocromador primario.

Se han determinado tanto las fases de la muestra total (en polvo desorientado de muestra tamizada por debajo de 63 µm), como de la fracción arcilla (utilizando tres agregados orientados: sin tratamiento previo, con calentamiento a 550ºC durante 2 horas y con impregnación de etilenglicol por contacto durante 12 horas). La preparación del agregado orientado incluye la extracción de la fracción arcilla (<2 µm) mediante agitación mecánica por vía húmeda, decantación y el depósito de una parte de la suspensión resultante sobre una placa de vidrio.

El análisis mediante DRX permite tanto la detección de la asociación mineralógica primaria presente en las muestras, como de las fases de neoformación, producto del proceso de cocción. Además, de la información combinada entre las observaciones petrográficas y las fases cristalinas detectadas por DRX, pueden concretarse aspectos sobre las condiciones de cocción de las pastas cerámicas.

A partir del estudio mineralógico se ha llevado a cabo una comparación entre las fases mineralógicas identificadas en las muestras cerámicas y los datos obtenidos en las probetas cocidas a diferentes temperaturas, que servirá para estimar la temperatura de cocción de las muestras cerámicas y como criterio de validación de las posibles fuentes de materia prima utilizadas en la elaboración de las piezas.

Análisis químico

De forma complementaria, se ha realizado el análisis químico tanto de las muestras cerámicas como de los sedimentos arcillosos, de elementos mayoritarios, minoritarios y traza, mediante Espectrometría de emisión atómica con Plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES), con el instrumento Thermo Elemental Iris Intrepid Radial Spectrometer.

Con los datos obtenidos a través del análisis químico, se ha efectuado el tratamiento estadístico con objeto de establecer grupos de muestras cerámicas con un perfil químico similar y contrastarlos con los constituidos a partir de las distintas técnicas de análisis utilizadas en la investigación. Además, el análisis químico permite también conocer el grado de correspondencia entre los datos correspondientes a los sedimentos arcillosos muestreados y los aportados por el análisis de los fragmentos cerámicos (García-Heras, 1998).

Caracterización cerámica de los sedimentos arcillosos

Se han realizado una serie de ensayos en las muestras de sedimentos arcillosos que servirán para valorar por una parte, su aptitud cerámica como posible materia prima utilizada en la manufactura de las piezas cerámicas y por otra su viabilidad para la fabricación de productos en la industria cerámica actual.

Análisis granulométricos

Previo a la realización de los ensayos granulométricos se procedió al secado de las muestras a tª ambiente y a su posterior cuarteado. La granulometría se realizó mediante el análisis por Pipeta de Robinson (Figura 6).

Se han establecido los siguientes rangos de tamaño de diámetro máximo: arena gruesa (>0.5 y <2mm); arena

Figura 6. Detalle del análisis granulométrico mediante Pipeta de Robinson.

media (>0.25 – 0.499mm); arena fina (>0.0625 – 0.249mm); limo grueso (>0.0156 – 0.0624mm), limo fino (>0.002mm--<.0156mm) y arcilla (<0.002mm).

Ensayos físico-tecnológicos

La caracterización físico-tecnológica de los sedimentos arcillosos se ha llevado a cabo tanto en las materias primas en sí, como en los productos cocidos obtenidos con las mismas. Se estudiaron las propiedades tanto en crudo como en cocido a partir de la elaboración de probetas con forma cilíndrica de todas las muestras seleccionadas.

En cuanto a las propiedades en crudo, se han realizado ensayos de plasticidad (límites de Atterberg), según las normas UNE 7-377 y 7-378. El límite líquido se determinó utilizando la cuchara de Casagrande (Figura 7) y el plástico calculando el contenido de agua de cilindros de arcilla amasada de unos 3mm de diámetro formados sobre una superficie lisa, en el momento en que éstos comienzan a agrietarse por la pérdida de agua. Por otra parte, se ha realizado la medida de parámetros como el agua de amasado y la contracción al secado.

Respecto a las propiedades en cocido, se ha llevado a cabo la valoración de la contracción al cocido, expresándose como contracción total el valor obtenido por la diferencia de las dimensiones lineales iniciales de las probetas respecto a la pérdida de tamaño en los procesos de secado y cocción.

Además, se ha procedido a la medida del color a partir de las condiciones anteriormente detalladas, de las probetas elaboradas con muestras de sedimentos arcillosos antes y después del proceso de cocción.

Por último, indicar que han sido realizados ensayos complementarios de resistencia mecánica (compresión y flexión), tanto de probetas en crudo como en cocido.

Figura 7. Ensayo de límite líquido de una muestra de sedimento arcilloso mediante la Cuchara de Casagrande.

IV. CONCLUSIONES

La integración de los resultados obtenidos a partir del establecimiento de las diferentes producciones cerámicas y la caracterización arqueométrica mediante la utilización de distintas técnicas analíticas, permiten la realización de una interpretación global con significado arqueológico.

El principal problema de partida a resolver era la gran dificultad a la hora de diferenciar las producciones de los alfares celtibéricos, dada la gran estandarización del proceso de fabricación de estas piezas y la calidad de sus pastas depuradas, obtenidas previa decantación de la arcilla. La aproximación al conocimiento de las producciones cerámicas ha sido posible gracias a la integración de los resultados obtenidos en cada uno de los apartados expuestos. La combinación de los diferentes elementos tipológicos, decorativos y de caracterización arqueométrica aumenta las posibilidades de discriminar la procedencia de un alfar u otro con una mayor probabilidad de acierto, ya que cualquiera de estos factores tratados de forma aislada o individual, no aportan datos determinantes respecto a la diferenciación de este tipo de cerámicas.

En concreto, consideramos de especial interés la integración de la definición morfométrica, gracias a los análisis multivariantes, y la caracterización arqueométrica ya que su aplicación nos permite obtener datos objetivos con los que diferenciar las producciones de cada alfar.

La muestra analizada ha sido de 290 fragmentos correspondientes a 7 alfares. En los análisis previos univariantes (t-student) hemos obtenido diferencias estadísticamente significativas entre los distintos alfares para la mayoría de las variables observadas. Estos datos nos permiten ser optimistas, ya que al menos las diferencias que se observan *de visu* se comprueban de forma estadística.

Respecto al estudio arqueométrico, indicar que los primeros resultados obtenidos a partir del estudio de un conjunto de 5 de los 12 alfares celtibéricos, corroboran la validez del planteamiento metodológico desarrollado en esta investigación. En este sentido, destacamos la aplicación del tratamiento de imágenes texturales como herramienta útil de discriminación en este tipo de producciones cerámicas donde las diferencias de composición química y mineralógica son muy sutiles.

En cuanto a los procesos tecnológicos se refiere, el estado actual de la investigación nos lleva a concluir que la cerámica celtibérica se ha elaborado a partir de un modo de producción especializado y común a los cinco centros productores estudiados (Igea *et al.,* en prensa). La reproducción de los procesos de elaboración (selección de la materia prima, manipulación y cocción) inferidos a partir del estudio arqueométrico, aplicados a los sedimentos arcillosos, permitirá comprobar la validez de los resultados preliminares, a la vez que ahondar en el conocimiento de un proceso de fabricación ya establecido al menos desde el siglo IV a.C.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha desarrollado gracias a la concesión de una beca FPU del Ministerio de Educación y Ciencia, para la realización de la Tesis Doctoral de Mª. E. Saiz. Además el trabajo se enmarca dentro del proyecto I+D: HUM2005-03369/HIST, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y los fondos FEDER. También agradecemos al Grupo Hiberus de la Universidad de Zaragoza el apoyo prestado al proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

BONET ROSADO, H. y MATA PARREÑO, C. 1992: *La cerámica ibérica: ensayo de tipología.* SIP, 89. Valencia.

BURILLO MOZOTA, F. 1983: *La alfarería de Huesa del Común.* SAET. Teruel.

BURILLO MOZOTA, F. 1980: *El Valle Medio del Ebro en época ibérica.* Institución Fernando el Católico. Zaragoza.

CALVO GARCÍA, J.C. en prensa: "Sistemas metrológicos prerromanos en la P. Ibérica". *Studium.* Facultad de C. Sociales y Humanas. Teruel.

CANO M.A.; LOPEZ, R.; SAIZ, M.E. y LOPEZ, D. 2002: "La cerámica de técnica ibérica aparecida en las excavaciones de la ciudad de Segeda I. Área 3: Campaña 2001", *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología, Bolskan* 19: 211-220. Huesca

GARCÍA-HERAS, M. 1998: "Caracterización arqueométrica de la producción cerámica numantina". *BAR Internacional Series* 692. Oxford.

GONZÁLEZ, P. 1989: *Cerámica preindustrial en la provincia de Valladolid.* Tomo 1. Valladolid.

IGEA, J.; LAPUENTE, P.; SAIZ, M.E.; BURILLO, F.; BASTIDA, J.; PÉREZ-ARANTEGUI, J. 2008: "Estudio arqueométrico de cerámicas procedentes de cinco alfares celtibéricos del Sistema Ibérico Central". *Boletín de la Sociedad Española de cerámica y vidrio* 47 (1): 44-55.

LAPUENTE, P.; RAMÍREZ, M.P.; CLARK, P. 1995: "Caracterización de ladrillos de Monumentos Mudéjares en Calatayud, Zaragoza. Composición mineralógica y datación por termoluminiscencia". *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 18: 41-54.

LAPUENTE, P. y PÉREZ-ARANTEGUI, J. 1999: "Characterization and technology from studies of clay bodies of local islamic production in Zaragoza (Spain). *Journal of European Ceramic Society* 19: 1835-1846.

OLAETXEA, C. 2000: *La tecnología cerámica en la protohistoria vasca,* Munibe, Suplemento 12, Sociedad de Ciencias Aranzadi, San Sebastián.

ORTON, C.; TYERS, P. y VINCE, A. 1997: *La cerámica en arqueología.* Crítica. Barcelona.

PÉREZ ARANTEGUI, J.; AGUAROD, C.; LAPUENTE, M.P.; FELIÚ, M.J. y PERNOT, M. 1996: *Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos.* Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología IV. SAET. Teruel.

RICE, P.M. 1987: *Pottery análisis: A Source Book.* University of Chicago Press. Chicago.

PRODUCCIÓN CERÁMICA EN LAS MÉDULAS (LEÓN). UNA COMPARACIÓN DIACRÓNICA A TRAVÉS DE MÉTODOS ARQUEOMÉTRICOS

CERAMIC PRODUCTION IN LAS MÉDULAS (LEÓN). A DIACHRONIC COMPARISON BY MEANS OF ARCHAEOMETRICAL METHODS

N. CARMONA[1,2], M. GARCÍA-HERAS[1,2], M.A. VILLEGAS[1,2], M.D. FERNÁNDEZ-POSSE[3], F.J. SÁNCHEZ-PALENCIA[1]

(1) Instituto de Historia (IH-CSIC), Centro de Ciencias Humanas y Sociales. C/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid.
(2) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC). Avda. Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid.
(3) Instituto de Patrimonio Histórico Español. El Greco, s/n. 28040 Madrid.

RESUMEN

El estudio arqueométrico de los patrones de producción cerámica es una herramienta eficaz para determinar el alcance de los cambios socioeconómicos y culturales de las comunidades indígenas de la Zona Arqueológica de Las Médulas (León) como consecuencia del contacto con el mundo romano. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización quimicofísica de un conjunto de materiales cerámicos del asentamiento metalúrgico de Orellán (s. I-II d.C.). Los datos de composición química de estos materiales se han comparado con los obtenidos en un trabajo anterior en distintos tipos cerámicos del asentamiento castreño de El Castrelín de San Juan de Paluezas (s. III-I a.C.). Los resultados de la comparación diacrónica indicaron que algunas de las cerámicas de El Castrelín podrían haberse fabricado con las mismas materias primas que las utilizadas para elaborar una buena parte de la cerámica de Orellán, lo cual sugiere una pervivencia de los patrones de producción de cerámica indígena en las comunidades ligadas a la explotación de las minas de oro de Las Médulas.

ABSTRACT

The archaeometric study of pottery production patterns is an effective tool to determine the range of socioeconomic and cultural changes within indigenous communities from the archaeological zone of Las Médulas (León, Spain) as a consequence of their contact with the Roman world. This paper reports the results derived from the chemical-physical characterization of a set of ceramic materials from the metallurgical site of Orellán (1st and 2nd centuries AD). Chemical compositional data from these materials have been compared with those obtained in a previous work on ceramic types from the settlement site of El Castrelín de San Juan de Paluezas (3rd to 1st centuries BC). The diachronic comparison results indicated that some pottery from El Castrelín could have been produced with the same raw materials than those used to elaborate most part of the pottery from Orellán. This fact suggests the endurance of indigenous pottery production patterns in the communities linked to the exploitation of the gold mines of Las Médulas.

Palabras clave: cerámica, Península Ibérica, Las Médulas, arqueometría, tecnología, patrones de producción, composición química.

Key words: *pottery, Iberian Peninsula, Las Médulas, archaeometry, technology, production patterns, chemical composition.*

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales de los sucesivos proyectos de investigación llevados a cabo en la Zona Arqueológica de Las Médulas (Suroeste de León) ha sido el conocimiento de los cambios socioeconómicos y culturales producidos en las comunidades prerromanas asentadas en estos territorios como consecuencia del contacto con el mundo romano (Sánchez-Palencia *et al.,* 2000; Sánchez-Palencia, 2002). El factor más importante de estos cambios fue sin duda la nueva ordenación y explotación del territorio y sus habitantes de acuerdo con los intereses del estado romano, cuyo ejemplo más espectacular y evidente fueron las numerosas minas de oro trabajadas en la zona, entre las que destaca por sus dimensiones la de Las Médulas. Esta nueva situación transformó profundamente tanto el patrón de asentamiento como las formas de relación social (Fernández-Posse y Sánchez-Palencia, 1998; Sastre, 2001).

El estudio arqueométrico de los patrones de producción cerámica puede ser un buen indicador para definir alguno de estos cambios. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización arqueométrica realizada sobre un conjunto de materiales cerámicos procedentes de las excavaciones arqueológicas del asentamiento metalúrgico romano de Orellán (s. I-II d.C.) y su posterior comparación con los obtenidos en un trabajo anterior (Galván *et al.,* 1993), sobre materiales del asentamiento castreño de El Castrelín de San Juan de Paluezas, de cronología prerromana (s. III-I a.C.).

El enclave de Orellán estuvo ocupado por una población indígena al servicio de los intereses romanos en esta área, que producía principalmente instrumentos y herramientas de hierro. Aparte de éstos, los habitantes de Orellán también utilizaban una gran variedad de tipos cerámicos como *terra sigillata,* cerámica común romana, jarras grises o cerámicas que seguían una tradición indígena en su manufactura (Sánchez-Palencia *et al.,* 2000: 266 y fig. 314). En este contexto, eran bien conocidas las cerámicas importadas (p. ej. *terra sigillata)* pero, sin embargo, todavía resultaban poco documentados aspectos sobre la tecnología de producción, procedencia y distribución de las diferentes cerámicas domésticas usadas por estas comunidades rurales de Las Médulas. Los objetivos de este estudio se centraron, por tanto, en determinar la tecnología de producción y la posible procedencia geográfica de los siguientes tipos cerámicos del asentamiento de Orellán: cerámica común romana, cerámica de tradición indígena y jarras grises. Para ello se analizó, mediante distintas técnicas de caracterización quimicofísica, un conjunto de materiales compuesto por cerámicas de los tres tipos mencionados y restos de materiales de construcción procedentes de diferentes contextos arqueológicos, tales como pavimentos, enfoscados de paredes y fragmentos de tapial. Finalmente, con el objetivo de comprobar si existía continuidad en la utilización de las mismas materias primas para elaborar cerámica bajo la dominación romana, se compararon estadísticamente los datos de composición química de los materiales de Orellán con los obtenidos en diferentes tipos cerámicos del asentamiento castreño de El Castrelín, el cual se sitúa junto al río Sil dentro de la propia Zona Arqueológica de Las Médulas (Fig. 1). Los resultados han permitido una primera aproximación diacrónica a los patrones de producción cerámica de una región que contaba con un acceso muy restringido a las rutas comerciales del Imperio.

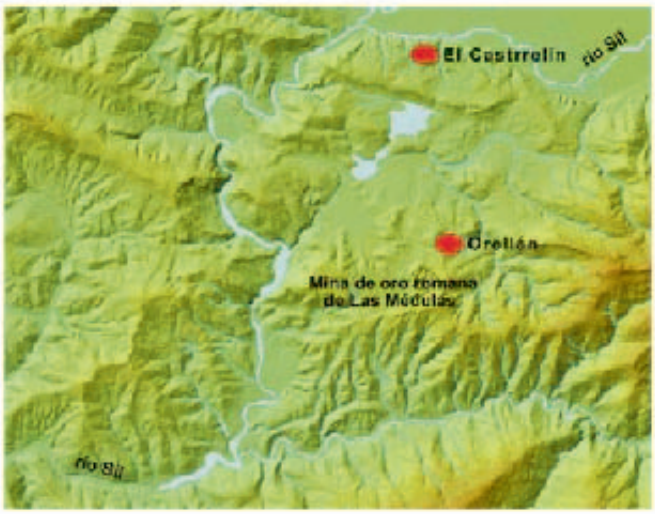


Figura 1. Mapa de Las Médulas con la localización de Orellán y El Castrelín.

2. MATERIALES Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

2.1. Muestras seleccionadas

Para la realización de este trabajo se seleccionaron un total de 46 muestras procedentes del asentamiento de Orellán: 41 fragmentos cerámicos y cinco muestras de materiales de construcción. Estas últimas se escogieron para su comparación con los fragmentos cerámicos, ya que con toda probabilidad fueron elaborados con sedimentos arcillosos locales. Su nomenclatura en este estudio es MP. La selección de los fragmentos abarcó los tres tipos de cerámica doméstica. Así, se analizaron 11 muestras de cerámica común romana (CCR), 18 de cerámica de tradición indígena (CTI) y 12 jarras grises (JG). La composición química de todas estas muestras se comparó con la obtenida en 34 muestras procedentes de El Castrelín: 30 fragmentos cerámicos y cuatro muestras de materiales de construcción. Los fragmentos cerámicos de este último asentamiento se correspondían con cerámica escobillada (6), gris (6), castreña (6), cerámica a torno (6) y moldes de sítula (6) (Galván *et al.,* 1993).

2.2. Técnicas de análisis

Las muestras seleccionadas se caracterizaron con las siguientes técnicas complementarias: análisis petrográfico mediante lámina delgada, difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB) y fluorescencia de rayos X (FRX). Previamente, se observaron las características macroscópicas de las muestras sobre fracturas frescas y secciones pulidas.

El análisis petrográfico mediante lámina delgada se realizó con un microscopio Zeiss modelo Axioskop y se empleó para identificar la mineralogía y la morfología de las inclusiones presentes en la matriz arcillosa. La DRX permite la identificación de las fases minerales a partir de su estructura cristalina y es muy útil para estudiar la reacción de estas fases por efecto de la temperatura. Se llevó a cabo con un equipo Siemens D-5000, usando la radiación Kα del cobre (1,54056 Å) bajo condiciones de trabajo de 40 kV y 30 mA. Los difractogramas se obtuvieron entre 2θ = 2-60° sobre muestra en polvo molida en mortero de ágata. La observación mediante MEB se efectuó sobre fracturas frescas recubiertas con oro como medio conductor, depositado con un equipo Spi-Module (Structure Probe Inc.). Se utilizó oro para una mejor caracterización microestructural de la matriz arcillosa y de su morfología interna desarrollada durante la cocción. Las observaciones se realizaron con un microscopio Jeol modelo JXA-840, con tensión de aceleración de 15 kV. Finalmente, el análisis químico de las muestras se llevó a cabo mediante FRX con un espectrómetro Philips modelo PW-1404 equipado con tubo de rodio. Las muestras se prepararon a partir de polvo obtenido por molienda en mortero de ágata. El polvo fue prensado posteriormente en pastillas de ácido bórico, utilizando una mezcla de n-butilmetacrilato y acetona (10:90 % en peso) como aglomerante. Las determinaciones analíticas se obtuvieron con el programa informático Uniquant 4.22 basado en parámetros fundamentales. Mediante este procedimiento se determinaron las concentraciones de los siguientes 16 elementos químicos expresados como óxidos en % en peso: sodio, magnesio, aluminio, silicio, fósforo, potasio, calcio, titanio, vanadio, manganeso, hierro, cinc, rubidio, estroncio, zirconio y bario.

Con el fin de aislar grupos cerámicos con perfiles químicos similares y estimar la validez estadística de estos grupos, los datos de composición química obtenidos con FRX en las 46 muestras de Orellán se analizaron con tres técnicas exploratorias de análisis estadístico multivariante: análisis cluster, análisis de componentes principales y análisis canónico discriminante que incluyó el cálculo de distancias de Mahalanobis (Baxter, 1994). Para ello se utilizó el paquete estadístico Systat 10.0 (SPSS Inc., Chicago). Las concentraciones de los óxidos se transformaron en valores logarítmicos para compensar las diferencias de magnitud entre los componentes mayoritarios y minoritarios (Bishop y Neff, 1989). En los aná-

lisis estadísticos no se tuvieron en cuenta las concentraciones de los óxidos de vanadio y estroncio debido a que no se determinaron en todas las muestras. Asimismo, tampoco se utilizaron las concentraciones de óxido de fósforo al ser muy sensible a los cambios postdeposicionales experimentados por las cerámicas arqueológicas durante su enterramiento (Freestone *et al.,* 1985; Bearat y Dufournier, 1994). Por consiguiente, el análisis estadístico de los datos de FRX en las muestras de Orellán se efectuó utilizando sólo las concentraciones de 13 óxidos como variables. La comparación estadística con las 34 muestras procedentes de El Castrelín se realizó con las mismas técnicas y procedimientos, aunque utilizando solamente las concentraciones de los nueve óxidos siguientes: Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO, TiO_2, MnO y Fe_2O_3. Se utilizaron estos óxidos porque eran comunes con las determinaciones químicas llevadas a cabo en el presente trabajo y en el realizado con anterioridad en El Castrelín (Galván *et al.,* 1993). La comparación era, además, viable porque en ambos casos se utilizó la FRX como técnica de análisis químico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cerámica de Orellán

La observación macroscópica de fracturas frescas y secciones pulidas mostró la existencia de dos grupos diferenciados. Uno caracterizado por tener una fina matriz arcillosa e inclusiones de tamaño inferior a 0,5 mm (Fig. 2: A, C y E); y otro también de matriz arcillosa fina y homogénea en el que se observaron inclusiones más abundantes y de mayor tamaño (hasta 1,2 mm) (Fig. 2: B, D y F). En los dos grupos aparecieron cerámicas de los tipos CCR y CTI. El tipo JG se ubicó casi exclusivamente en el primero, mientras que los materiales de construcción (MP) sólo se localizaron en el segundo.

El examen petrográfico mediante lámina delgada también reveló la existencia de dos grupos, con una mineralogía muy similar y sin signos de inicio de vitrificación en sus matrices arcillosas. Las inclusiones del Grupo 1 (Fig. 3: A, C y E) estaban compuestas por cuarzo y feldespato potásico redondeados, mica de morfología acicular (tanto biotita como moscovita), óxidos de hierro opacos e irregulares y algunos pequeños fragmentos redondeados de cuarcita. El tamaño de estas inclusiones se situó entre <100 y 400 µm. Su densidad en la matriz arcillosa era baja, en torno al 20%. Un total de 26 muestras se asociaron a este grupo y en él aparecían todos los grupos cerámicos (CCR, CTI y JG). La mayoría mostraron matrices rojizas, anaranjadas y marrones, lo que indica que la cerámica se coció en atmósferas predominantemente oxidantes. No obstante, las muestras del tipo JG mostraron una pequeña franja reducida en ambas

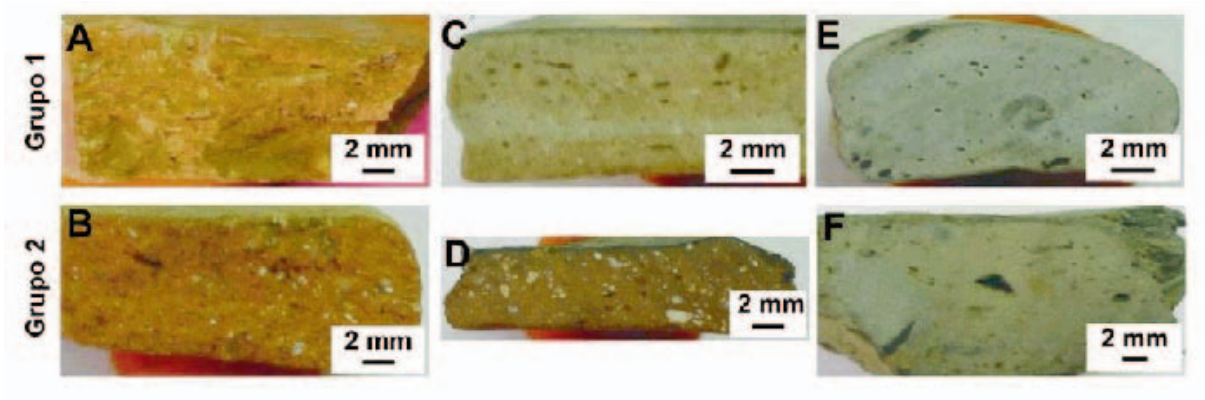


Figura. 2. Imágenes de fracturas frescas y secciones pulidas. A-B) Cerámica común romana (CCR). C-D) Cerámica de tradición indígena (CTI). E) Jarra gris (JG). F) Material de construcción (MP).

superficies de unos 100 µm aproximadamente, que podría indicar un ciclo de reducción al final del proceso de cocción, quizás durante el enfriamiento de las piezas, para obtener el color gris superficial (Fig. 3: E). En el Grupo 2 se asociaron 20 muestras y se caracterizó por la mayor presencia de inclusiones, de mayor tamaño, pero en general con la misma mineralogía que en el grupo anterior (Fig. 3: B, D y F). Su mayor tamaño permitió identificar también algunos fragmentos de pizarra y plagioclasa. El tamaño de estas inclusiones se situó entre <100 y 1200 µm, aunque en algunos casos era incluso superior. Su densidad en la matriz arcillosa se estimó alrededo del 35%. Este grupo, por tanto, parece corresponderse con el mismo sedimento arcilloso utilizado para elaborar la cerámica del Grupo 1, pero con una granulometría menos seleccionada según indica el tamaño de sus inclusiones. En el Grupo 2 se asocian los tipos CCR, CTI y la mayoría de los materiales de construcción (MP). Sólo una muestra de JG se identificó en este grupo, lo que indica que la cerámica gris se manufacturó mayoritariamente con un sedimento de grano fino como el del Grupo 1.

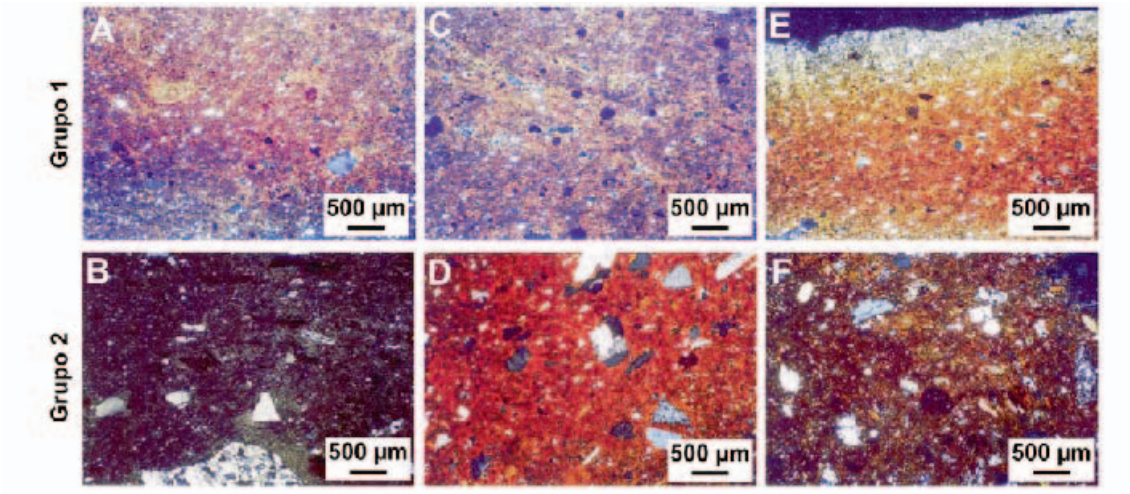


Figura 3. Micrografías de lámina delgada. Nícoles cruzados. A-B) Cerámica común romana (CCR). C-D) Cerámica de tradición indígena (CTI). E) Jarra gris (JG). F) Material de construcción (MP).

Los resultados de DRX determinaron una composición mineralógica muy homogénea en todas las muestras, al igual que los análisis petrográficos. Como fases principales se detectaron cuarzo y feldespato potásico, mientras que las fases secundarias detectadas fueron illita, biotita y moscovita. Se identificaron también reflexiones con buena intensidad de hematita en aquellas muestras en las que se observaron matrices rojizas y anaranjadas mediante lámina delgada. La intensidad de las reflexiones de illita y de mica (biotita y moscovita) es la única diferencia que puede señalarse entre los dos grupos petrográficos anteriores (Fig. 4: A y B). En las muestras de MP se identificaron las mismas fases mineralógicas que en las cerámicas, aunque en general sin la presencia de hematita (Fig. 4: C).

La observación microestructural de las muestras mediante MEB mostró una textura laminar que puede relacionarse con un estado de sinterización que no ha alcanzado la vitrificación. Esta microestructura es característica de minerales micáceos con un alto contenido en illita (García-Heras y Rincón, 1996). En las muestras del Grupo 1, en las que se identificaron mayores reflexiones de illita y mica por DRX, se observaron microestructuras laminares bien definidas (Fig. 5: A, C y E) en cerámicas de los tipos CCR, CTI y JG, lo que indica que la temperatura de cocción no fue suficientemente alta para descomponer la estructura cristalina de los minerales arcillosos como la illita. Esta microestructura apareció, por otro lado, intacta en las muestras de MP que no fueron cocidas (Fig. 5: F). Sin embargo, en aquellas muestras del Grupo 2 con menores reflexiones de illita y mica según los resultados de DRX, el estado de sinterizado parece

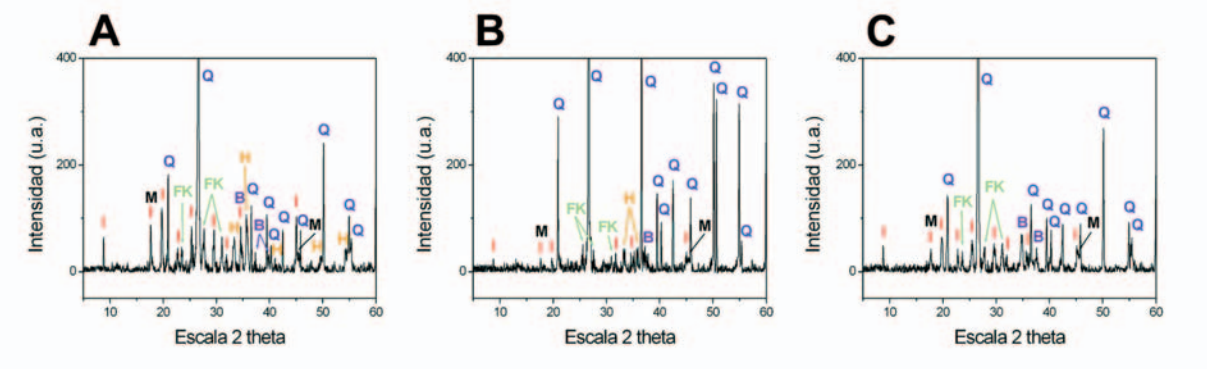


Figura 4. Difractogramas. A) Cerámica común romana (CCR). Grupo 1. B) Cerámica común romana (CCR). Grupo 2. C) Material de construcción (MP). Q Cuarzo. I Illita y filosilicatos. B Biotita. M Moscovita. FK Feldespato potásico. H Hematita.

algo más avanzado, ya que los bordes de las hojas de los minerales arcillosos aparecieron más borrosos y con las aristas más redondeadas (Fig. 5: B y D). Este hecho podría indicar que las cerámicas del Grupo 2 se cocieron a una temperatura ligeramente superior, debido a que los cristales de illita y de los minerales micáceos comienzan ya a descomponerse por efecto térmico.

A partir de los datos obtenidos mediante lámina delgada, DRX y MEB puede inferirse una temperatura de cocción equivalente comprendida entre 700 y 800/850°C para la mayoría de las cerámicas analizadas. La estimación se basa en la presencia de reflexiones de illita y mica en los datos de DRX. La deshidroxilación de estos minerales ocurre alrededor de 800/850°C (Rice, 1987). También se basa en la presencia de reflexiones intensas de hematita en aquellas muestras con matriz rojiza o anaranjada, ya que esta fase se forma a temperaturas superiores a 700°C en atmósfera oxidante en arcillas no calcáreas (Maniatis *et al.,* 1981). La estimación de estos rangos de temperatura se corrobora con las observaciones microestructurales de MEB, en las que se observa un estado de sinterización que no ha alcanzado la vitrificación. Así, las muestras con mayores reflexiones de illita y mica del Grupo 1 podrían haberse cocido en torno a 700/750°C, mientras que las del Grupo 2 con reflexiones menores de estas fases y un estado de sinterizado algo más avanzado, podrían haber alcanzado en la cocción hasta 800/850°C.

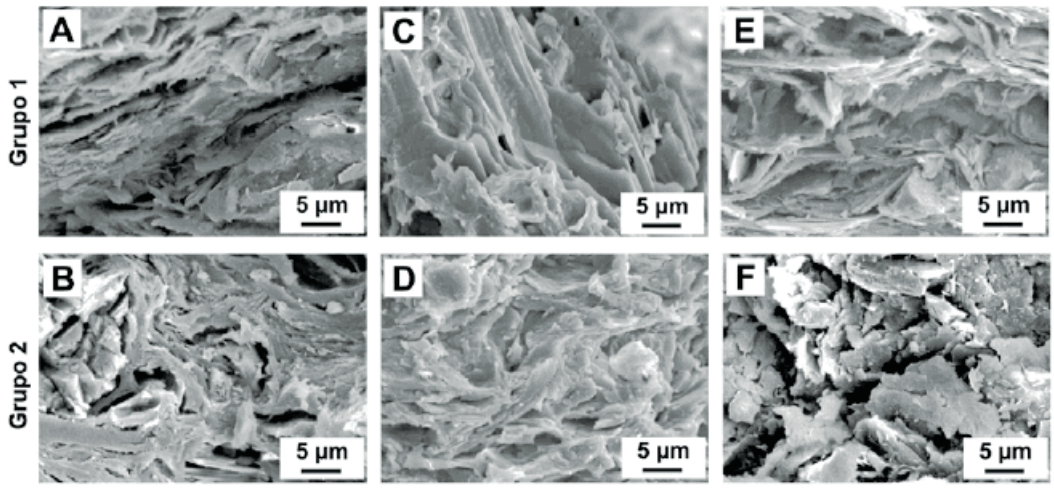


Figura 5. Micrografías de MEB sobre fracturas frescas. A-B) Cerámica común romana (CCR). C-D) Cerámica de tradición indígena (CTI). E) Jarra gris (JG). F) Material de construcción (MP).

Debido a la homogeneidad mineralógica detectada en el análisis petrográfico y en los datos de DRX, sólo se realizó el análisis químico mediante FRX en 25 de las muestras seleccionadas (21 fragmentos cerámicos de los tres tipos y 4 materiales de construcción). Un primer análisis cluster, no mostrado en este trabajo por razones de espacio, utilizando el método del centroide y matriz de distancias euclídeas, proporcionó un dendrograma en el que las 25 muestras se clasificaron en dos grupos. Una estructura similar de dos grupos es la que también reflejó el análisis de componentes principales realizado posteriormente y basado en una matriz de varianza-covarianza (Fig. 6). Los dos primeros componentes sumaron el 80,23% de la variación total de los datos. Con respecto al primer componente, que explicó un 63,25% de la variación, las variables Na_2O y CaO se correlacionaron de forma positiva, mientras que las variables MgO y Fe_2O_3 lo hicieron de manera negativa. En el segundo componente, con un 16,98% de la variación, fueron las variables CaO y Fe_2O_3 las que se correlacionaron de forma positiva, mientras que las variables Na_2O y SiO_2 se correlacionaron negativamente. Para estimar la validez estadística de estas dos agrupaciones, se realizó por último un análisis canónico discriminante en el que también se calcularon las distancias de Mahalanobis de cada muestra con respecto a los centroides de cada agrupación. Los resultados confirmaron las dos agrupaciones establecidas. Todas las muestras presentaron un nivel de confidencia mayor del 95% de pertenencia a su grupo. En cuanto a las distancias de Mahalanobis, el Grupo 1 se mostró muy homogéneo, con puntuaciones entre 3,8 y 8,1 respecto a su centroide. Por el contrario, el Grupo 2 presentó una mayor heterogeneidad, con puntuaciones a su centroide que se situaron entre 3,3 y 11,4. En la Tabla 1 se muestran la media y las desviaciones estándar de las dos agrupaciones obtenidas en los análisis estadísticos, los cuales corroboraron los datos petrográficos y de DRX.

Los materiales cerámicos analizados pueden considerarse como no calcáreos ya que la concentración de óxido de calcio es inferior al 5% en peso. El contenido de óxido de hierro es bastante elevado (~8% en peso). El Grupo 1 está compuesto por 10 muestras y se caracteriza por tener mayores contenidos de óxidos de magnesio, aluminio, potasio y hierro que el Grupo 2 y se corresponde con el sedimento de grano más fino identificado mediante lámina delgada. Excepto una muestra, todos los ejemplares del tipo JG se asociaron a este grupo (Fig. 6), lo cual indica que la cerámica gris se manufacturó mayoritariamente con el sedimento de grano más fino. El Grupo 2 está compuesto por 15 muestras. Se caracteriza por tener mayores concentraciones de óxidos de sodio, silicio y calcio que el Grupo 1 y se corresponde con el sedimento de grano más grueso del análisis petrográfico. La fracción granulométrica también se refleja en los

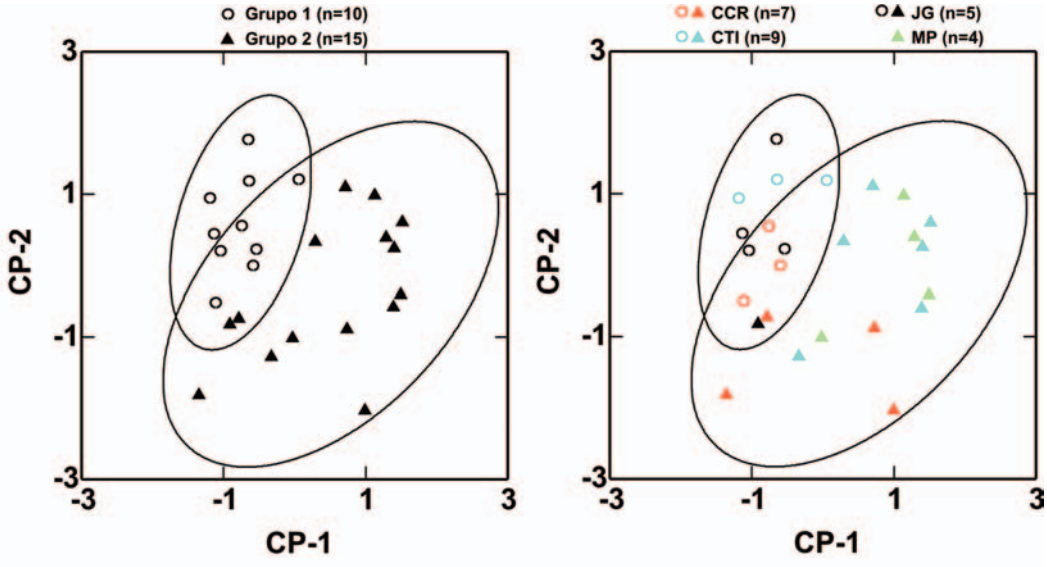


Figura 6. Representación de las muestras de Orellán y su agrupación según su puntuación en los dos primeros componentes principales. Las elipses representan el 95% de confidencia de pertenencia a cada grupo.

	Grupo 1 (n=10)		Grupo 2 (n=15)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Na_2O	0,21	0,04	0,52	0,22
MgO	1,67	0,40	1,38	0,38
Al_2O_3	27,27	1,40	26,18	1,83
SiO_2	55,83	2,16	57,66	3,53
K_2O	3,92	0,47	3,75	0,84
CaO	1,31	0,40	1,85	0,92
TiO_2	0,82	0,04	0,78	0,17
MnO	0,05	0,02	0,05	0,03
Fe_2O_3	8,78	0,85	7,67	1,45
ZnO	0,02	0,01	0,02	0,01
Rb_2O	0,02	0,003	0,02	0,01
ZrO_2	0,03	0,004	0,04	0,01
BaO	0,07	0,02	0,08	0,04
Total	100,00		100,00	

Tabla 1. Media y desviación estándar de los grupos obtenidos a partir del análisis estadístico de los datos químicos de FRX (% en peso) obtenidos en los materiales de Orellán.

perfiles químicos de los dos grupos. Así, los óxidos más relacionados con la matriz arcillosa (p.ej. magnesio, potasio o hierro) están mejor representados en el Grupo 1, mientras que aquellos más directamente relacionados con las inclusiones (p.ej. sodio, silicio o calcio) presentan mayores contenidos en el Grupo 2. En ambos grupos se asocian cerámicas de los tipos CCR y CTI, mientras que los materiales de construcción (MP) se ubican sólo en el Grupo 2 (Fig. 6). Este hecho puede sugerir un origen local para la cerámica doméstica de Orellán, puesto que los perfiles químicos de las cerámicas son muy similares a los obtenidos en los materiales de construcción. Además, la mineralogía identificada es compatible con la geología local, ya que los sedimentos locales están compuestos principalmente por materiales paleozoicos como conglomerados cuarcíticos, pizarras y arenas de grano fino ricas en hierro (Santos *et al.,* 1979; Hérail, 1984: 134-195 y 316-377; Domergue y Hérail, 1999; Pérez García *et al.,* 2000; Pérez García, 2001).

3.2. Comparación de la cerámica de Orellán con la cerámica de El Castrelín

La comparación de ambos conjuntos de cerámica se llevó a cabo con los datos de composición química obtenidos mediante FRX en las 25 muestras procedentes de Orellán señaladas anteriormente y en las 34 muestras procedentes de El Castrelín publicadas en Galván *et al.* (1993). De la misma forma que en el análisis estadístico de las muestras de Orellán, un primer análisis cluster, tampoco mostrado en este trabajo, proporcionó un dendrograma en el que las 59 muestras se clasificaron en tres agrupaciones distintas, quedando una muestra desagrupada. El posterior análisis de componentes principales, basado igualmente en una matriz de varianza-covarianza, ratificó esta misma estructura de tres grupos con una muestra desagrupada (Fig. 7). Los dos primeros componentes sumaron el 82,87% de la variación total de los datos. Con respecto al primer componente, que explicó un 64,70% de la variación, las variables CaO y Al_2O_3 se correlacionaron de forma positiva, mientras que las variables Na_2O y TiO_2 lo hicieron de manera negativa. En el segundo componente, con un 18,17% de la variación, fueron las variables CaO y Na_2O las que se correlacionaron de forma positiva, mientras que las variables TiO_2 y SiO_2 se correlacionaron negativamente. La validez estadística de estas tres agrupaciones se estimó por medio de un análisis canónico discriminante con cálculo de las distancias de Mahalanobis de cada muestra al centroide de su agrupación. Los resultados confirmaron las tres agrupaciones establecidas y la existencia de una muestra desagrupada. Todas las muestras presentaron un nivel de confidencia mayor del 90% de pertenencia a su grupo, excepto en el caso de la muestra desagrupada cuyo valor de confidencia descendió hasta el 47% con respecto al Grupo 3. Con referencia a las distancias de Mahalanobis, el Grupo 1 se mostró bastante homogéneo, con puntuaciones entre 0,4 y 9,2 respecto a su centroide. El Grupo 2 resultó ser el más heterogéneo, según indicaron sus puntuaciones, que se situaron entre 3,2 y 22,3;

mientras que las del Grupo 3, también muy homogéneo, se extendieron entre 1,8 y 12,4. La menor distancia de Mahalanobis de la muestra desagrupada (43,7) se producía con el centroide de este último grupo, por lo que en la Fig. 7 aparece contabilizada en el Grupo 3. En la Tabla 2 se muestran la media y las desviaciones estándar de las tres agrupaciones obtenidas en el análisis estadístico de los datos de Orellán y El Castrelín.

Los resultados estadísticos asocian los materiales cerámicos de El Castrelín a dos de estas agrupaciones (Fig. 7, muestras señaladas en rojo). Los Grupos 1 y 2 de este último análisis coinciden plenamente con los Grupos 1 y 2 obtenidos anteriormente en las muestras de Orellán. El Grupo 1 está compuesto exclusivamente por las mismas 10 muestras de Orellán y el Grupo 2, que antes estaba formado por 15 muestras, tiene ahora 26 ejemplares, debido a que se asocian todas las cerámicas a torno de El Castrelín, así como tres cerámicas grises, una escobillada y un molde de sítula. Por último, el Grupo 3 constituye una nueva agrupación compuesta solamente por muestras procedentes de El Castrelín y se caracteriza por tener las mayores concentraciones en óxidos de sodio, silicio y titanio; y las menores en óxidos de mag-

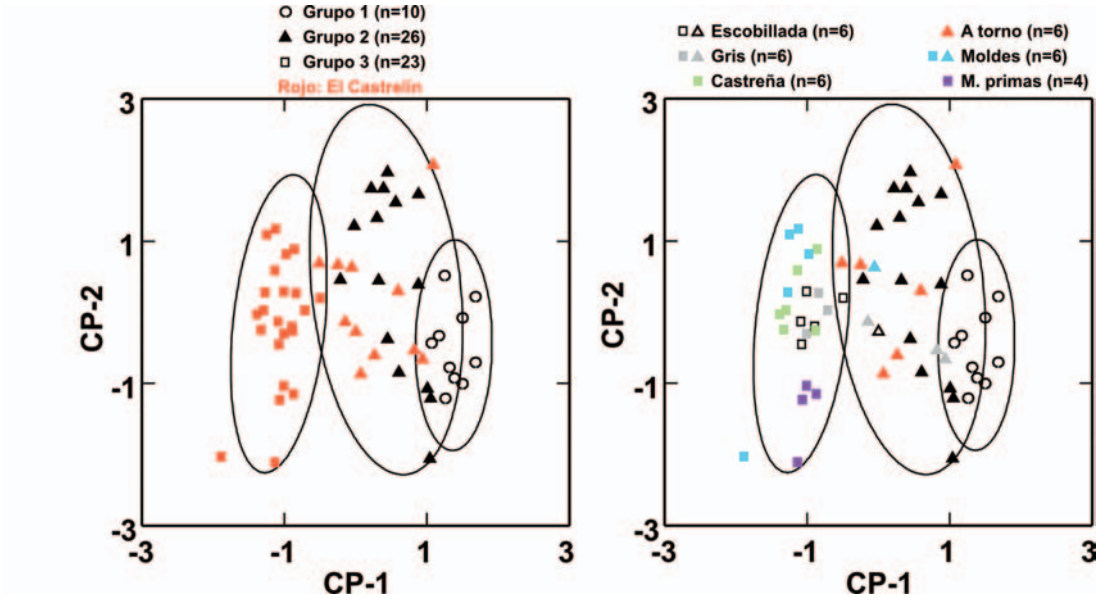


Figura 7. Representación de las muestras de Orellán y El Castrelín y su agrupación según su puntuación en los dos primeros componentes principales. Las elipses representan el 90 % de confidencia de pertenencia a cada grupo.

	Grupo 1 (n=10)		Grupo 2 (n=26)		Grupo 3 (n=23)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Na_2O	0,20	0,04	0,56	0,25	1,77	0,38
MgO	1,67	0,40	1,69	0,55	1,62	0,58
Al_2O_3	27,31	1,40	23,34	4,02	17,81	2,12
SiO_2	55,92	2,16	60,48	4,80	65,70	2,62
K_2O	3,93	0,48	3,68	0,72	3,57	0,35
CaO	1,31	0,40	1,69	0,90	0,94	0,32
TiO_2	0,82	0,04	0,86	0,18	0,99	0,12
MnO	0,05	0,02	0,07	0,04	0,09	0,04
Fe_2O_3	8,79	0,85	7,63	1,16	7,51	1,06
Total	100,00		100,00		100,00	

Tabla 2. Media y desviación estándar de los grupos obtenidos a partir del análisis estadístico de los datos químicos renormalizados de FRX (% en peso) obtenidos en los materiales de Orellán y El Castrelín.

nesio, aluminio, potasio, calcio y hierro, con respecto a los otros dos grupos. En este caso, no es posible apuntar si la fracción granulométrica de los materiales tiene alguna incidencia en el perfil químico de este grupo, ya que no se cuenta con datos petrográficos y texturales. No obstante, es probable que así sea debido a que gran parte de los materiales cerámicos de El Castrelín son elaborados a mano y esto permite trabajar con una fracción granulométrica mayor. Por otro lado, el hecho de que los materiales de construcción de El Castrelín se asocien al Grupo 3 podría indicar que las cerámicas de este asentamiento se elaboraron con materias primas próximas al mismo y, a su vez, diferenciadas de las utilizadas para elaborar la cerámica de Orellán. Sin embargo, los datos parecen indicar que para manufacturar cerámicas a torno y algunas grises, los alfareros de El Castrelín utilizaron sedimentos arcillosos similares en composición química a los usados en Orellán, al menos dos siglos después, para manufacturar cerámica común romana y cerámica de tradición indígena.

4. CONCLUSIONES

El estudio arqueométrico realizado en un conjunto de materiales cerámicos del asentamiento metalúrgico de Orellán determinó que las cerámicas domésticas se fabricaron con sedimentos arcillosos illíticos no calcáreos ricos en óxido de hierro, que se cocieron en atmósferas predominantemente oxidantes a una temperatura de cocción equivalente que puede estimarse entre 700 y 800/850°C. Este control sobre la temperatura y atmósfera de cocción pudo llevarse a cabo utilizando hornos de doble cámara, en los que el combustible y la entrada de aire pudieran ser convenientemente regulados. La mineralogía identificada en los materiales cerámicos de Orellán es compatible con la geología de la zona, lo que sugiere un origen local para la mayoría de las cerámicas del asentamiento. Además, la composición química de estas cerámicas es muy similar a la de los materiales de construcción analizados, que muy probablemente se elaboraron con materias primas de procedencia local. Se identificaron dos grupos cerámicos que se corresponden con dos fracciones granulométricas distintas, las cuales dan lugar a perfiles químicos diferenciados. En los dos grupos se asocian los tipos de cerámica común romana y de tradición indígena. Sin embargo, las jarras grises aparecen casi exclusivamente en el grupo de fracción granulométrica más fina, por lo que puede inferirse una cierta especialización o preferencia por un determinado sedimento arcilloso en función del material a fabricar.

Los materiales cerámicos, incluidos los restos de elementos de construcción, del asentamiento de El Castrelín conforman una agrupación química diferenciada de las dos determinadas en los materiales de Orellán. No obstante, todas las cerámicas a torno, algunas cerámicas grises y sendos fragmentos de cerámica escobillada y molde de sítula, se asocian al grupo de granulometría más gruesa de Orellán. Este hecho podría indicar que para manufacturar cerámica común romana y cerámica de tradición indígena, los alfareros de Orellán utilizaron materias primas arcillosas que tradicionalmente ya se empleaban en la zona para elaborar, sobre todo, cerámica a torno. Esta primera aproximación diacrónica sugiere, por tanto, una pervivencia de los patrones de producción cerámica indígena en las comunidades ligadas a la explotación de las minas de oro de Las Médulas y ratifica el carácter rural y tributario de estas comunidades, que tenían un acceso muy restringido a las rutas comerciales del Imperio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través de los proyectos “Bierzo RojoVerdeNegro” (PIF-CSIC 06- 055) y METALA (CSI07/03, Junta de Castilla y León). N. Carmona agradece a CSIC-FSE la concesión de un contrato postdoctoral I3P. Los autores agradecen el apoyo institucional de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural.

BIBLIOGRAFÍA

BAXTER, M.J. 1994: *Exploratory Multivariate Análisis in Archaeology.* Edinburgh University Press. Edinburgh.

BEARAT, H. y DUFOURNIER, D. 1994: "Quelques expériences sur la fixation du phosphore par les céramiques". *Revue d'Archéométrie* 18: 65-73.

BISHOP, R.L. y NEFF, H. 1989: "Compositional data analysis in archaeology". En R.O. Allen (ed.): *Archaeological Chemistry IV. American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 220.* Washington D.C.: 57-86.

DOMERGUE, C y HÉRAIL, G. 1999: "Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne) ". En B. Cauet (dir.): *L'or dans l'Antiquité, de la mine à l'objet.* Aquitania, supplément 9: 93-116.

FERNÁNDEZ-POSSE, M.D. y SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. 1998: "Las comunidades campesinas en la Cultura Castreña". *Trabajos de Prehistoria* 55 (2): 125-150.

FREESTONE, I.C.; MEEKS, N.D. y MIDDLETON, A.P. 1985: "Retention of phosphate in buried ceramics: an electrón microbeam approach". *Archaeometry* 27: 161-177.

GALVÁN, V.; FERNÁNDEZ-POSSE, M.D.; SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. y GALVÁN, J. 1993: "Tipos cerámicos y geoquímica: El Castrelín de San Juan de Paluezas (León)". *Archivo Español de Arqueología* 66: 248-257.

GARCÍA-HERAS, M. y RINCÓN, J.M. 1996: "Microstructural and microanalytical study (SEM/EDX) of Celtiberian potsherds from the Spanish Central Meseta". *Geoarchaeology. An International Journal* 11 (4): 329-344.

HÉRAIL, G. 1984: *Geomorphologie et lîtologie de l'or dètritique. Piemonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne (montes de León, Bierzo).* CNRS. Toulousse.

MANIATIS, Y.; SIMOPOULOS, A. y KOSTIKAS, A. 1981: "Mössbauer study of the effect of calcium content on iron oxide transformations in fired clays". *Journal of the American Ceramic Society* 64: 263-269.

PÉREZ GARCÍA, L.C. 2001: "La mina de oro romana de Las Médulas". En R. Nuche del Rivero (ed.): *Patrimonio Geológico de Castilla y León.* ENRESA. Madrid: 30-55.

PÉREZ GARCÍA, L.C.; SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. y TORRES RUIZ, J. 2000: "Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo basins)". *Journal of Geochemical Exploration* 71: 225-240.

RICE, P.M. 1987: *Pottery Analysis. A Sourcebook.* Chicago University Press. Chicago.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. (dir.) 2002: *Las Médulas. Patrimonio de la Humanidad.* Junta de Castilla y León. Valladolid.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J.; FERNÁNDEZ-POSSE, M.D.; FERNÁNDEZ MANZANO, J.; OLMOS, R.; OREJAS, A.; PÉREZ GARCÍA, L.C.; PLÁCIDO, D.; RUIZ DEL ÁRBOL, M. y SASTRE, I. 2000: *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana.* Instituto Leonés de Cultura. León.

SANTOS, J.A.; MINGARRO, F. y ORDÓÑEZ, S. 1979: "Sedimentología del lago de Carucedo (Ponferrada-León)". *Estudios Geológicos* 35: 305-310.

SASTRE, I. 2001: *Las formaciones sociales rurales de la Asturia romana.* Ediciones Clásicas. Madrid.

SELLO O MARCADOR MICROESTRUCTURAL EN LAS CERÁMICAS DE "TERRA SIGILLATA"

MICROSTRUCTURAL MARKER IN "TERRA SIGILLATA" CERAMICS

JESUS Mª RINCON

Grupo/ Lab de Materiales Vítreos y Cerámicos. Instituto E. Torroja CC Construcción. CSIC, Madrid
c/ Serrano Galvache 4. Madrid 28033. e-mail: jrincon@ietcc.csic.es

RESUMEN

Después de haber investigado la composición química y mineralógica de muestras representativas de materiales cerámicos antiguos de "terra sigillata" (TS) de la Península Ibérica y de otras procedentes de yacimientos europeos como los de La Graufesenque (Francia), se ha comprobado la presencia de la fase mineral feldespática sanidina que se forma por reacción a elevadas temperaturas entre las fases feldespáticas: ortoclasa y plagioclasa. La formación de esta fase mineral neoformada es una constante en todas las cerámicas de TS aquí investigadas e incluso en datos de difracción de rayos X de la bibliografía de otras cerámicas del mismo tipo. Se propone la detección de esta fase en un material cerámico antiguo del mismo periodo postimperial romano como un "sensor o marcador" propio o específico de las temperaturas a las que tuvo lugar la producción de estos materiales.

ABSTRACT

After having investigated the chemical and mineralogical composition of representative samples of ancient ceramics of "terra sigillata" (TS) from the Iberian Peninsula and others from European deposits as those of La Graufesenque (France), there has been verified the presence of the feldspar mineral phase sanidine which is formed by the reaction at high temperatures between the feldspars: orthoclase and plagioclase. The neoformation of this mineral phase is a constant in all the ceramics classified as TS analysed here, and even in the X-ray diffraction data reported in the literature for similar ceramics. Therefore, it is proposed the detection of this phase in ancient ceramics as "sensor or marker" characteristic of the temperatures at which the production of these materials took place.

Palabras clave: cerámicas, terra sigillata, materiales cerámicos antiguos, sanidina, feldespatos, Península Ibérica, La Graufesenque, talleres riojanos.

Key words: *ceramics, terra sigillata, ancient ceramics, sanidine, feldspars, Iberian Peninsula, La Graufesenque, Rioja workshops.*

1. INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la primera centuria de la era actual, la manufactura de vasijas de cerámica que llevaban estampada en su base la marca o "etiqueta" del ceramista o taller respectivo ("terra sigillata") fue muy común en Hispania. Uno de los centros de producción más importantes estaba localizado en Tricio-Bezares (Logroño, La Rioja) que exportaba este tipo de recipientes de cerámica a otros lugares del Imperio Romano e incluso a Mauritania. Se trata de un tipo de cerámica muy perfeccionada y que desapareció con la caída del Imperio Romano, cuyas características fundamentales son (Figura 1):

a) Color rojo con productos de superficie satinada generalmente.

b) Productos de cerámica de paredes finas (generalmente entre 2-3 mm).

c) Aspecto y textura "ligera" o "fina".

d) La fractura de los recipientes o productos es también de color rojo (rojo ladrillo intenso) y con desgrasante que apenas se ve o de tamaño muy pequeño.

e) Decoradas en muchos casos en relieve en su superficie con decoraciones producidas por un molde.

f) Casi siempre llevan el sello o marca del taller o artesano ceramista que produjo este tipo de productos generalmente en la base.

Las características de aspecto y finura de este tipo de productos que nunca fueron igualados en épocas posteriores, sugieren desde el punto de vista de la tecnología cerámica que se trataba de productos avanzados para su época y por tanto de un mayor "valor añadido" que la cerámica común que también se producía en periodos anteriores y posteriores a los del auge de producción y comercialización de la "terra sigillata" en todo el Imperio Romano, pues suponen un gran salto en calidad y prestaciones respecto a otros tipos de productos cerámicos.

Otros centros de producción se han encontrado en Andújar o Cástulo y es un material muy abundante en diversos museos nacionales en donde su tipología ha sido estudiada con detalle (Jerez Linde, 2005, 2006), por lo que el análisis de este tipo de materiales por técnicas arqueométricas (técnicas de caracterización químico-física de materiales) puede aportar interesantes datos sobre los mismos, facilitar su identificación y clasificación, así como establecer sus relaciones culturales y comerciales.

Figura 1. Diversas tipologías en piezas de cerámica de "terra sigillata" (piezas del Museo de Arte Romano de Mérida, foto de J. Ma. Rincón, 2007).

Para determinar las características mineralógicas, microanalíticas y microestructurales de cerámicas de "terra sigillata" se han usado las técnicas de microscopía de barrido con microanálisis (SEM/EDX) y la técnica de análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) interpretando los resultados con la metodología de diagramas de correlación. Se trata del primer estudio arqueométrico que se realizó en nuestro país sobre este tipo de materiales aplicando esta técnica a un total de 57 muestras que procedían de diversos yacimientos en campañas realizadas a lo largo de varios años y que fueron seleccionadas y facilitadas por J.M. Blázquez en 1980 (Blázquez *et al.,* 1985; Rincón, 1985a y b). Entre ellas se encuentran muestras de los Talleres Riojanos, así como restos de moldes del yacimiento arqueológico de La Muela de Cástulo, Jaén. Otras muestras de este tipo de cerámicas proceden de La Graufesenque, Francia, y que analizadas por Jornet (1980) en años anteriores se han incluido como referencia. En este caso se trata de "revisitar" estos resultados destacando y discutiendo la presencia de la fase neoformada sanidina como una característica común a este tipo de cerámicas antiguas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada ha pretendido facilitar la comparación de resultados entre todas las muestras, por lo que no se realizó metalización o recubrimiento conductor que normalmente es necesario para los análisis por microscopía electrónica de barrido y microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM/EDX). Se ha utilizado un equipo Zeiss DSM-950 con una tensión de aceleración de 20 kV. Los materiales de terra sigillata y cerámicas comunes aquí investigados (generalmente de color rojo ladrillo en masa y con superficie brillante o satinada) contienen generalmente un elevado porcentaje de óxidos de hierro, por lo que la conductividad eléctrica que estos óxidos confieren a este tipo de cerámica hace innecesario en este caso su metalización para su observación por SEM. Como es bien conocido (Rincón y Romero, 1996) para evitar efectos de acumulación de carga electrónica durante la observación de materiales aislantes es necesario en este tipo de microscopía electrónica recubrir las muestras con una fina capa de un elemento conductor realizándose generalmente recubrimientos de carbón o bien de oro-paladio en un cámara de evaporación. La técnica de Difracción de rayos X de polvo (DRX) se ha utilizado para identificar las fases cristalinas que contienen estos materiales antiguos con radiación Kα de cobre y usando un difractómetro Philips.

3. RESULTADOS

Por microanálisis de SEM/EDX se ha comprobado que hay una amplia variación de composiciones aunque el resultado estético (color, textura, etc.) es muy similar entre las de diversa procedencia. Sus contenidos en SiO_2 varían entre el 50 y el 70% en peso y los de Al_2O_3 entre el 15 y el 30% en peso, por lo que son materiales muy enriquecidos en óxido de aluminio (alúmina como componente químico). Los contenidos en óxidos de hierro, que se expresan en este tipo de análisis globalmente como Fe_2O_3, son relativamente elevados estando entre un 3 y un 10% aproximado en peso que las confiere el color rojo ladrillo característico de este tipo de cerámicas y del "brillo" o "bruñido superficial" que presentan. La variación composicional más destacada es la del contenido en óxido de calcio (CaO) que aparece en este tipo de cerámicas como un componente mayoritario importante, llegando en la mayor parte de las muestras a estar en el intervalo entre el 11 y el 16,5. En la Figura 2 se incluye un resumen de los márgenes en los que se encuentran los datos analíticos de la composición química de las piezas investigadas. Contienen además las muestras aquí investigadas cantidades menores de óxidos alcalinos (Na_2O y K_2O), de óxido de magnesio (MgO) y pequeñas proporciones de TiO_2.

La composición mineralógica determinada por DRX en todas las muestras analizadas indica la presencia de fases tales como: cuarzo, feldespatos, gehlenita, hematita, calcita, mica y magnetita. En algunos casos excepcionales también aparecen: dolomita y espinela.

Se muestran como ejemplo (Figura 3) los diagramas DRX de polvo de fragmentos catalogados como de "terra sigillata" en los que puede apreciarse la presencia de las fases indicadas, diferenciándose estos diagramas básicamente no sólo en su contenido de cuarzo (Q) sino fundamentalmente en la presencia de las fases feldespáticas. Así, se ve como una característica común a las muestras: Andújar, dos de Cástulo y una de Mérida, que presentan la fase feldespática sanidina (S) cuya difracción característica aparece a un ángulo de difracción más alto y próximo al pico de 26º 2θ del cuarzo (Q). En todos los casos que aparece la fase feldespática sanidina (S) en cerca de cincuenta muestras analizadas (varias de los talleres riojanos y de Mérida) y a diferencia de las de otros yacimientos, como los de Pino Montano y El Regadío (Teruel) que no muestran la formación de dicha fase mineral, puede comprobarse que las difracciones del cuarzo disminuyen. En el caso de la muestra de Cástulo SI/12 se diferencian dos picos de las fases feldespáticas ortoclasa y plagioclasa.

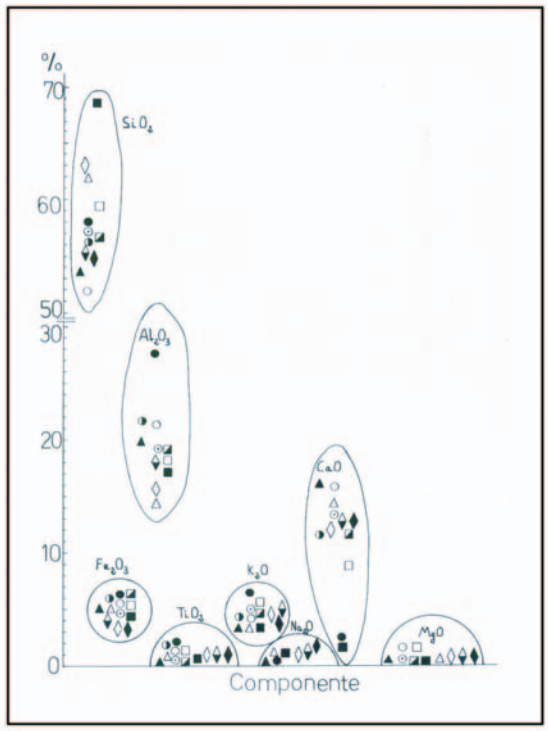


Figura 2. Intervalos de composición analítica de todas las piezas. Fragmentos seleccionados por J.M. Blázquez en 1980 y resultados recogidos por Rincón (1985a) y Rincón y Romero (1995).

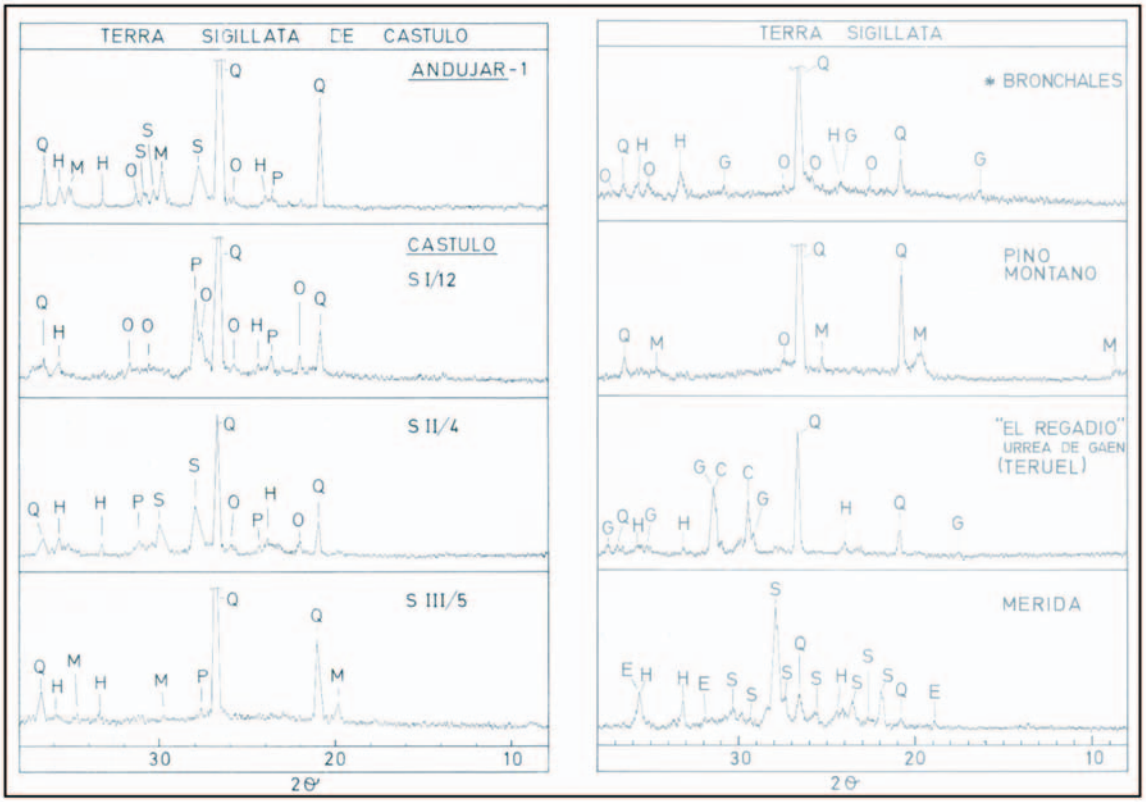


Figura 3. Difractogramas de rayos X de materiales cerámicos de "terra sigillata" de diversos yacimientos de la Península Ibérica según Rincón y Romero (1995).

La Figura 4 presenta varios difractogramas de DRX de “terra sigillata” de los talleres de la Galia como los de La Graufesenque, así como de los Talleres Riojanos de Tricio, Bezares y Arenzana en los que puede apreciarse la presencia común de la fase sanidina (S) y en proporciones considerables en el caso de La Graufesenque. Estas muestras contienen además las otras fases antes indicadas: cuarzo (Q), hematita (H) y plagioclasas (P) u ortoclasas (O) según las muestras.

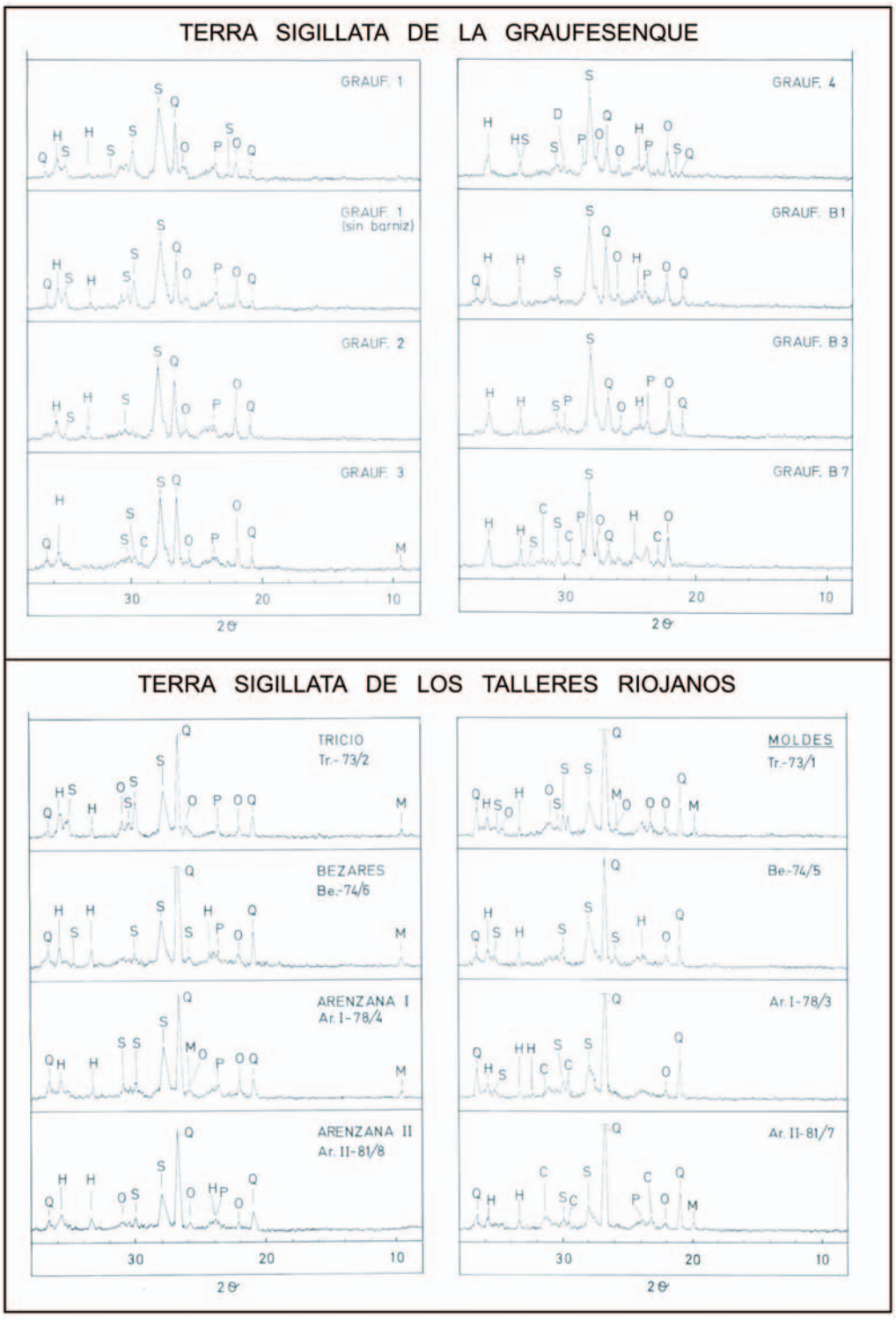


Figura 4. Diagramas de DRX de polvo de cerámicas de “terra sigillata” de La Graufesenque y de los Talleres Riojanos. Se incluyen en el caso de los Talleres Riojanos los DRX de moldes de las mismas muestras.

4. DISCUSIÓN

Usando la metodología de los diagramas de correlación entre elementos químicos (que se expresan como óxidos siempre en materiales cerámicos) o sumas de los mismos, se han podido establecer siete grupos muy diferenciados. Si se usa la metodología de los diagramas de correlación de composición (Figura 5) se pueden agrupar las muestras analizadas según diversas zonas de composición. Así, en el diagrama de contenido de CaO frente a SiO_2 ha podido comprobarse que casi todas las muestras se encuentran en una zona cercana de composición a excepción de la muestra El Endrinal o la de Cástulo antes mencionada SI/12 y que no presentaba la fase feldespática sanidina. Aunque la correlación del CaO frente al MgO muestra algunas cerámicas que quedan muy dispersas, aun así se pueden ver varios agrupamientos y confirmar la diferencia indicada para algunas muestras de Cástulo. Por otro lado, representando en dicho diagrama de correlación las composiciones de "terra sigillata" de los talleres franceses (La Graufesenque) se ve que no está muy alejada en este diagrama de las muestras de la península aunque su contenido en MgO es prácticamente nulo. Únicamente una pieza de Cástulo (S-IV-20) puede ser considerada "cercana" en su composición a cerámicas de este tipo analizadas por Jornet (1980). Las otras antes mencionadas de Cástulo SI/12 y la del Endrinal se alejan bastante del resto de las muestras.

Ya se ha mencionado como una característica común en casi todas las muestras de "terra sigillata" investigadas que por DRX aparece una difracción con un pico muy ancho que se ha identificado como perteneciente a la fase feldespática sanidina (Na, K) $AlSi_3O_8$. Esta fase existe a alta temperatura como una solución sólida completa del feldespato albita (plagioclasa) con el feldespato ortoclasa. La sanidina suele formarse por la reacción entre los feldespatos sódicos y potásicos a temperaturas elevadas de cocción (entre 1000-1100ºC). Aunque la sanidina contiene gran proporción de óxido de sodio en su estructura, es además una fase desordenada estructuralmente y propia de rocas volcánicas y que se forma por reacción a elevadas temperaturas, por lo que se podría haber formado incluyendo además un elevado contenido de calcio. Este tipo de cerámicas presentan además por SEM granos de cuarzo muy micronizados (Rincón, 1985a), lo que da idea además del alto grado de disolución del cuarzo y de la finura de las materias primas utilizadas para la manufactura de estos materiales.

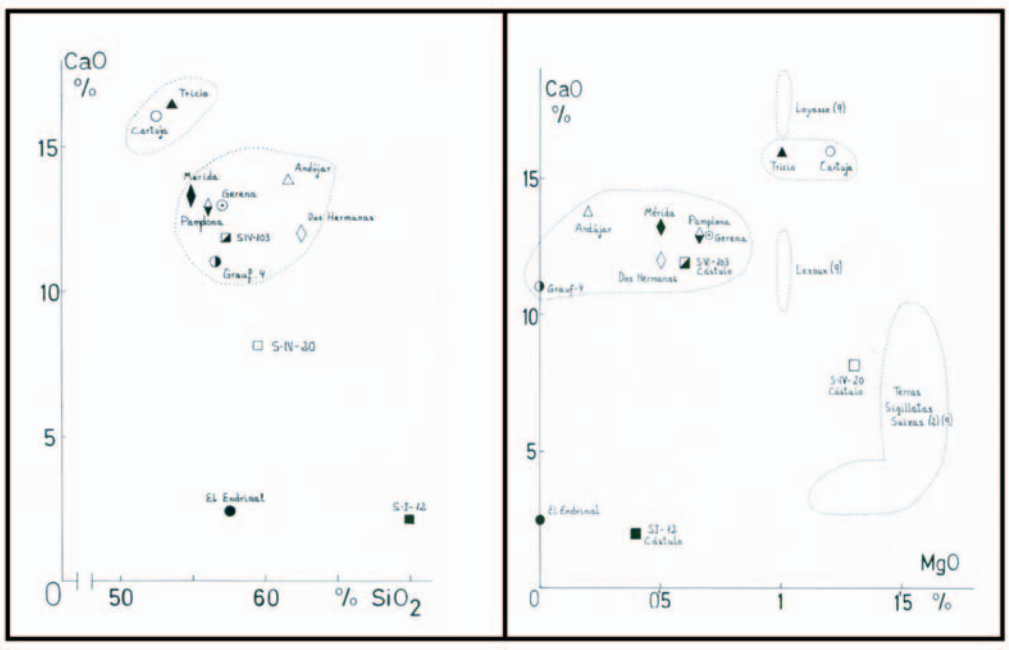


Figura 5. Diagramas de correlación de la composición de las cerámicas aquí investigadas. Contenido de CaO frente al contenido de SiO_2 y contenido de CaO frente al de MgO, respectivamente (% en peso en todos los casos).

Si comparamos los diagramas con la evolución de un concentrado de granito que contiene una elevada proporción de feldespatos de ortoclasa (microclina, M) y plagioclasa (albita, A) calentado a elevadas temperaturas (1050º y 1150ºC) (García-Verduch *et al.,* 1975) se puede comprobar la gran similitud entre el hábito del diagrama DRX con el de la "terra sigillata" aquí investigada. Se comprueba cómo a partir de 1050ºC en tiempos de cocción de larga duración (16 horas) se empieza a formar la fase sanidina consumiendo las anteriores fases feldespáticas (Figura 6a). De acuerdo con los diagramas habituales de secuencia de formación de fases en materiales cerámicos y que son habituales en los estudios arqueométricos de cerámicas antiguas (Jornet, 1980), se ofrece en la Figura 7 la secuencia en la que aparecería la sanidina que incluso puede coexistir con la ortoclasa y plagioclasa como se discute a continuación.

Se ha visto que la sanidina puede coexistir con las fases previas de tipo feldespático (Figura 6a) por lo que en la secuencia de composición de fases con la temperatura (Figura 7) puede verse que hasta aproximadamente 1050ºC coexistirían dichas fases. Al mismo tiempo ya se ha mencionado que la sanidina es una fase desordenada estructuralmente y es bien conocido (García-Verduch *et al.,* 1975) que en realidad se trata de una solución sólida metaestable del feldespato ortoclasa (Or) y plagioclasa (Ab), de manera que está próxima a la cúpula de inmiscibilidad metaestable hasta los 700ºC, conocida como el grupo de las pertitas. En este caso se habría formado sanidina en una zona del diagrama de fases muy próxima a la de fusión siendo posible la incorporación a esta fase desordenada (semi-vítrea) con un contenido considerable de CaO. Este hecho explicaría la formación de esta fase que se detecta por DRX y la presencia simultánea de un contenido elevado de óxido de calcio en la composición global analítica de la "terra sigillata" aquí investigada. Así pues, investigaciones para confirmar aún más esta hipótesis están en marcha por la relevancia que tendría la identificación de esta fase para conocer mejor la manufactura de este tipo de cerámicas y permitir su clasificación, especialmente cuando se dispone únicamente de fragmentos dispersos en los que se ha perdido o bien el sello del alfarero o bien su superficie satinada. Investigaciones complementarias de las ya realizadas por SEM/EDX y por TEM/EDX están en marcha para conocer aún más a fondo este tipo de cerámicas que podrían considerarse como "avanzadas" para su época y que inexplicablemente tuvieron su declive a partir del siglo V d.C. aproximadamente.

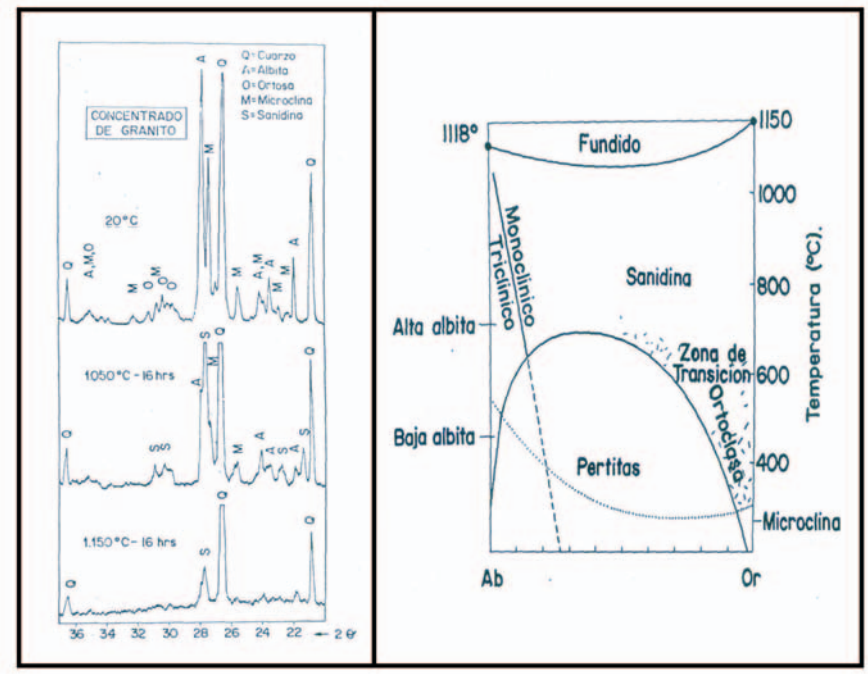


Figura 6. a) Formación de sanidina a partir de un concentrado de granito tratado térmicamente a temperaturas de 1050º y 1150ºC con 16 horas de cocción, según García-Verduch *et al.* (1975). b) Cúpula de inmiscibilidad metaestable de los feldespatos pertíticos en relación con el área de formación de la sanidina, según García-Verduch *et al.* (1975).

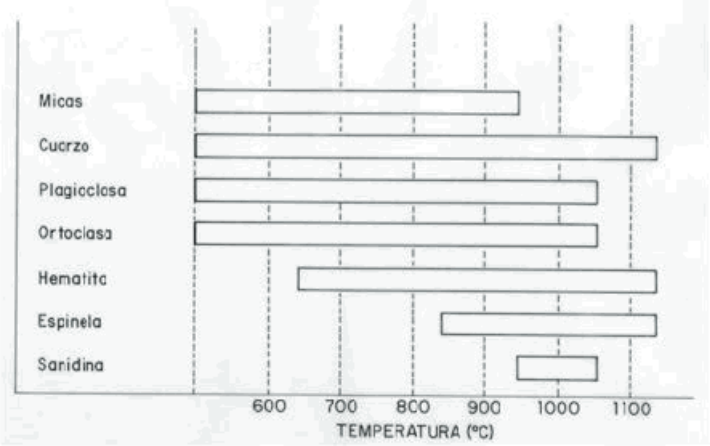


Figura 7. Secuencia de formación de fases minerales en las cerámicas de "terra sigillata" en función de la temperatura de cocción.

5. CONCLUSIONES

Las elevadas temperaturas de cocción que se utilizaron en la producción de "terra sigillata" ponen de manifiesto la presencia generalizada de la fase feldespática sanidina en la mayoría de las piezas estudiadas de la Península Ibérica. Investigando cerámicas del mismo tipo procedentes de talleres europeos como los de La Graufesenque se ha comprobado también la presencia de dicha fase cristalina en la microestructura de estos materiales.

La presencia del mineral feldespático sanidina neoformado en cerámicas de "terra sigillata" aquí investigadas puede ser una indicación de las elevadas temperaturas alcanzadas en la cocción de este tipo de cerámica en comparación con otras coetáneas de menor nivel tecnológico y de la importancia que tuvo en este caso el enriquecimiento de las materias primas en arcillas feldespáticas para su manufactura. La presencia de esta fase no se ha constatado en otras cerámicas comunes, por lo que su manufactura requeriría un alto grado de especialización. Estaríamos, por consiguiente, ante unos materiales que si no son vítreos ya disponían de una fase consolidante desordenada formada a partir de feldespatos y que sería una solución sólida de sanidina. Por tanto, se propone esta fase que se forma por reacción a elevadas temperaturas de otras fases feldespáticas, como un "indicador" o "sello" microestructural característico para estos materiales cerámicos antiguos. Esta característica especial podría facilitar su clasificación, especialmente cuando se dispone únicamente de fragmentos dispersos en los que se ha perdido o bien el sello del alfarero o bien su superficie satinada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a J.M. Blázquez el haber facilitado la selección de las muestras objeto de esta investigación, así como los valiosos comentarios sobre feldespatos de J. García Guinea del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC.

REFERENCIAS

BLAZQUEZ, J.M.; GARCIA-GELAVERT, M.P. y LOPEZ PARDO, F. 1985: *Cástulo V. Excavaciones Arqueológicas en España 140.* Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes. Madrid.

GARCÍA-VERDUCH, A.; REQUENA, J. y MOYA, S. 1975: "Estudio del comportamiento térmico del granito". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 14: 245-255.

JEREZ LINDE, J.M. 2005: “La terra sigillata itálica del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida”. *Cuadernos Emeritenses* 29: 174 pp.

JEREZ LINDE, J.M. 2006: “Terra sigillata Hispánica tardía del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida”. *Cuadernos Emeritenses* 35: 160 pp.

JORNET, A. 1980: “Composition de la céramique romaine d’Augusta Raurica (Augst)”. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 60: 271-285.

RINCÓN, J.M. 1985a: “Composición mineralógica y microestructura de cerámicas de Terra Sigillata de la Península Ibérica”. En J.M. Blázquez, M.P. García-Gelavert y F. López Pardo (eds.): *Cástulo V. Excavaciones Arqueológicas en España 140.* Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes. Madrid: 345-362.

RINCÓN, J.M., 1985b: “Análisis mineralógico de piezas de cerámica común e ibérica del poblado de la Muela de Cástulo, Linares, Jaén”. En J.M. Blázquez, M.P. García-Gelavert y F. López Pardo (eds.): *Cástulo V. Excavaciones Arqueológicas en España 140.* Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes. Madrid: 329-337.

RINCÓN, J.M. y ROMERO, M. 1995: “Archaeometric characterization of “terra sigillata” ceramics from Spain”. En P. Vincenzini (ed.): *The Ceramics Cultural Heritage. Techna Srl. Faenza:* 325-330.

RINCÓN, J.M. y ROMERO, M. 1996: “Aplicaciones del MEB y de la MSE a la caracterización de vidrios y materiales cerámicos tradicionales y avanzados”. En M. Aballe, J.López Ruiz, J.M. Badía y P. Adeva (eds.): *Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis por rayos X.* CSIC y Ed. Rueda. Madrid: 373-304.

LAS CERÁMICAS DE COCCIÓN REDUCTORA DEL YACIMIENTO DE L'ESQUERDA (RODA DE TER, BARCELONA)

UNOXIDISED POTTERY FROM L'ESQUERDA ARCHAEOLOGICAL SITE (RODA DE TER, BARCELONA)

ANNA GUTIÉRREZ GARCIA-MORENO[1,2], IMMA OLLICH CASTANYER[2], MONTSERRAT DE ROCAFIGUERA ESPONA[2]

(1) Unitat d'Estudis Arqueomètrics. Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). Pl. Rovellat s/n. 43003 Tarragona.
(2) Fundació Privada L'Esquerda. Museu Arqueològic de l'Esquerda. C/ Bac de Roda, 6. 08510 Roda de Ter (Barcelona).

RESUMEN

Este estudio se ha centrado en la caracterización macroscópica y mediante microscopio óptico de dos grupos de cerámica de cocción reductora del yacimiento de l'Esquerda (Roda de Ter, Barcelona): las cerámicas grises de la costa catalana, de época ibérica, y las cerámicas grises medievales. El objetivo era doble: por un lado, identificar producciones y su posible procedencia, y por el otro, intentar establecer un método de clasificación que permita la posterior clasificación del resto del material cerámico del yacimiento. Muestras de otros tipos materiales de posible producción local han servido como material de referencia dada la falta de evidencias arqueológicas de hornos. Los resultados han permitido identificar dos fragmentos importados, uno de ellos desde Italia, mientras que el resto del material es muy homogéneo y no presenta elementos claros que indiquen una producción no local.

ABSTRACT

This study focused on the macroscopic and petrographic characterization of two groups of unoxidised pottery from L'Esquerda archaeological site (Roda de Ter, Barcelona): the so-called grey wares from the Catalan Coast, of pre-Roman date, and the medieval grey wares. The aim was twofold: to identify productions and provenance them, and to attempt to establish some guidelines for the classification of the rest of the assemblage from this site. Other wares of probable local production were used as reference samples due to the lack of archaeological evidence of pottery kilns. The results lead to the identification of two fragments of foreign origin, one of them most likely from Italy, while the rest of the assemblage shows very similar features and no clear elements that point to a non local production.

Palabras clave: cerámica reductora, épocas ibérica y medieval, clasificación macroscópica, petrografía, L'Esquerda (Barcelona).

Key words: *unoxidised pottery, Iberian and Medieval periods, macroscopic classification, petrography, L'Esquerda (Barcelona).*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El yacimiento de l'Esquerda. Situación y contexto

L'Esquerda se encuentra situado en uno de los meandros que describe el río Ter a su paso por la comarca de Osona (provincia de Barcelona). Se trata de una península de más de 50 m de elevación y unas 12 ha de superficie, accesible sólo por su lado norte, donde se encuentran las murallas. Su situación privilegiada le confiere un control no sólo sobre la Plana de Vic sino también sobre el río, principal vía de comunicación hacia la Costa Brava. Probablemente sea la excepcionalidad del lugar lo que explique la dilatada ocupación, desde la Edad del Bronce hasta finales de la Edad Media.

En efecto, las evidencias de ocupación más antiguas pueden fecharse en un momento anterior al siglo VI a.C., al que pertenecen algunas cerámicas a mano, bruñidas y con decoración peinada y acanalada del Bronce Final y algunos restos de muros. Por encima de ellos, a finales del siglo V a.C., se construye un gran *oppidum* del que se conoce mayormente la fortificación. Se trata de una gran muralla tipo barrera que cierra el poblado por el norte, con dos torres rectangulares macizas. En su lado interno, la muralla presenta cuatro *armora* o *phyllacteria,* desde las que se accedería a las torres. Detrás de ellas, en total continuidad, aparecen una serie de habitaciones de grandes dimensiones, con abertura hacia el sur. Las excavaciones han demostrado que su uso no era doméstico sino tecnológico, íntimamente relacionado con la defensa del poblado. En uno de estos ámbitos se conservó parte de la techumbre de madera carbonizada, lo que permitió fechar la construcción por C_{14} alrededor del año 400 a.C.

A finales del siglo III, principios del II a.C., todo el conjunto fue destruido por un potente incendio, probablemente en el contexto de la conquista romana o de las revoluciones indígenas posteriores. Después se observa una reconstrucción, pero las estructuras excavadas de este período pertenecen claramente a viviendas. Este poblado sufre un total abandono hacia el cambio de era, y durante toda la época romana permanece desocupado.

La crisis del mundo romano supone un retorno a las antiguas pautas de ocupación. En este momento, en l'Esquerda se documenta un extenso campo de silos subterráneos, de los que hasta el momento se han documentado 33, que aprovecha los restos de las fortificaciones antiguas para resguardar el alimento. Una vez amortizados, éstos sirvieron como escombreras de residuos. El hallazgo del esqueleto entero de una cría de cerdo en el silo 16 posibilitó una datación por C_{14} de los silos con resultado 614±40 d.C.[1], lo que documenta ocupación en l'Esquerda en el período anterior a la conquista musulmana.

A partir de la restauración del Condado de Ausona el año 875, l'Esquerda se convierte en un poblado alrededor de una iglesia, primero prerrománica y después románica. La continuidad de la necrópolis atestigua la continua ocupación del asentamiento. El poblado feudal alcanza su máximo apogeo en el siglo XIII, cuando cuenta con talleres, un granero y varias decenas de casas. A inicios del siglo XIV, sin embargo comienza su progresiva decadencia y finalmente, en el año 1314, en el contexto de las luchas feudales, el poblado es definitivamente destruido y abandonado.

1.2. El proyecto

1.2.1. Planteamiento general

Siguiendo el espíritu de la Beca de Estudios de Arqueología Josep Mª Portús, financiada por la empresa IQAP Group, este proyecto se planteó de entrada como parte del conjunto de estudios interdisciplinares que se llevan a cabo en l'Esquerda y, más en concreto, como forma específica de aprovechar la aplicación de métodos de análisis arqueométricos para ampliar nuestro conocimiento del yacimiento.

1. Análisis realizado por el *Laboratori de Datació per Radiocarboni, Serveis Científicotècnics de la UB* (Universidad de Barcelona).

Nuestra atención se centró en la cerámica como material susceptible de ser estudiado dado el gran volumen de información que ésta podía proporcionar, no sólo por cuestión del altísimo numero de fragmentos documentados a lo largo de las campañas de excavaciones (sin lugar a dudas se trata del material más presente en los niveles arqueológicos), sino también gracias a ser un material tradicionalmente bien estudiado desde el punto de vista tipológico. Así pues, se podía contar con unas hipótesis previas sobre su producción y/o filiación susceptibles de ser comprobadas o refutadas mediante el análisis arqueométrico. Igualmente, este tipo de material se halla presente en todas las fases cronológicas del yacimiento (período ibérico, época altomedieval y época medieval), cosa que permitía plantear cuestiones a nivel diacrónico a la vez que obtener una visión global de los procesos tecnológicos y de producción cerámica a lo largo de los siglos.

1.2.2. El conjunto cerámico

Así pues, se eligieron las cerámicas de cocción reductora para ser objeto de estudio ya que:

- Se hallan de forma significativa tanto en el sector ibérico, con las cerámicas llamadas "gris de la costa catalana"[2], como en el poblado medieval, con las cerámicas llamadas "gris medieval".
- Constituyen un conjunto bien definido tanto en una época como en la otra; uno y otro han sido bien estudiados desde el punto de vista tipológico, y tanto el uno como el otro tienen un papel importante como fósil director en la determinación de muchos de los niveles estratigráficos.
- Comparten unas características (pasta gris) derivadas de una misma técnica de cocción (en atmósfera reductora), lo que favorece la comparación de ambas a nivel diacrónico.
- Se disponía de indicios anteriormente recogidos que las hacen susceptibles de haber sido fabricadas localmente. La identificación entre las cerámicas grises de la costa catalana de algunas piezas con formas fuera de la tipología común (imitación de crátera de caliz; bicónico ligeramente imperfecto aparecido en la casa 2) y tres fusayolas, objetos de uso cotidiano y fabricación claramente local, llevó a pensar en la posible existencia de un taller productor cerca de l'Esquerda. Por otro lado, la existencia de un estudio analítico[3] previo llevado a cabo por el Dr. Marius Vendrell y su equipo sobre este tipo de cerámicas en el conjunto de Cataluña apuntaba la posible existencia de un taller cerámico en l'Esquerda en base a que uno de los grupos diferenciados en la comarca de Osona estaba únicamente formado por cerámicas de l'Esquerda (Vendrell *et al.,* 1997: 265-267).

Sin embargo, el hecho de no haberse documentado durante las excavaciones evidencias de un centro productor (hornos, material de rechazo, basureros con gran cantidad de piezas, etc.) que pudieran servir como referencia de cara al estudio de las cerámicas reductoras hizo necesario plantear el uso de otros tipos cerámicos de fabricación muy probablemente local, tanto para época ibérica como para época medieval, como material de referencia. La gran cantidad de material recuperado a lo largo de las campa-

2. A pesar de que esta denominación es aún objeto de debate entre los especialistas, es por el momento el más aceptado frente a otras denominaciones aplicadas a estas cerámicas como "cerámica gris ampuritana", "cerámica gris ibérica" o "cerámica ibérica reducida". El primero parece implicar una producción procedente de los talleres de Ampurias o su entorno cuando se ha demostrado que estas cerámicas también se fabricaban en otros lugares; los otros dos nombres son conceptos muy amplios que fácilmente podrían aplicarse a vasijas ibéricas de cocción reducida fabricadas al torno pero no pertenecientes tipológicamente a este grupo y, por lo tanto, pueden dar lugar a confusión (Rodríguez *et al.,* 2003).

3. Este estudio consistió en la caracterización mineralógica, tanto de las fases desarrolladas en la pasta durante la cocción como del desgrasante, y química; consistieron en análisis por difracción de rayos-X y estudio petrológico de láminas delgadas o pulidas de fragmentos cerámicos (Vendrell *et al.,* 1997: 264-265).

ñas de excavación, hacían imposible incluir todo el material recuperado en este estudio preliminar. Así, se decidió seleccionar una serie de materiales que por su naturaleza fueran representativos sino de toda, al menos de la mayor parte de la cerámica que se ha encontrado en l'Esquerda, y hacer el estudio en base a éstas, de manera que en el futuro se pudieran utilizar como referencia para la clasificación y/o estudio del resto de los materiales. Así pues, se incluyeron también en el estudio fragmentos de cerámica ibérica a torno, cerámica oxidada indeterminada, cerámica común romana, cerámica a mano y tapia[4] procedentes de los niveles ibéricos así como fragmentos hallados en los silos altomedievales, por proceder éstos de un conjunto cerrado y con una fecha muy definida.

1.3. Objetivos

El objetivo de este estudio era doble:

a) Por un lado caracterizar con detalle las pastas a partir del análisis petrológico para, en la medida de lo posible:

- Determinar si hay distintas producciones dentro de cada grupo.
- Plantear hipótesis sobre su posible procedencia local o foránea.
- Identificar aspectos tecnológicos susceptibles de estar implicados en el proceso de fabricación cerámica como por ejemplo, la presencia de desgrasante añadido (no-natural) en la arcilla, o el uso de distintos tipos de arcilla mezclados.

b) Probar la aplicación de una metodología concreta al estudio de este conjunto cerámico que permitiera establecer pautas para la clasificación *de visu* del resto de la cerámica encontrada en este yacimiento.

2. METODOLOGÍA[5]

Dado que los objetivos propuestos se encaminan al estudio de pastas y la producción de los recipientes y no al estudio tipológico, realizado anteriormente en las memorias de excavación y estudios monográficos (Ollich y Rocafiguera, 1994; Ollich, 2003; Rocafiguera, 2004), la metodología aplicada se ha centrado en la identificación de los rasgos distintivos relativos a la procedencia de las vasijas.

Básicamente, la metodología aplicada se puede resumir en:

- Una **primera observación macroscópica**, llevada a cabo en el yacimiento de l'Esquerda, a simple vista o con lupa de mano (8-10X). Ésta fue la base para un primer muestreo significativo del total de cerámica documentado.
- Una **segunda observación macroscópica**, más detallada, con lupa binocular (20X), de los fragmentos previamente seleccionados para definir fábricas *(fabrics)* según los parámetros del Prehistoric Ceramic Research Group (color, cocción, dureza, textura/tacto, fractura, tecnología y tipo de inclusiones). Una segunda selección de muestras para el estudio microscópico.
- La **observación microscópica** mediante microscopio petrográfico destinada a comprobar y/o completar los grupos previamente establecidos, centrándonos principalmente en la caracterización del desgrasante (tipo, granulometría, clasificación, angularidad) y el aspecto general de la fracción arcilla.

4. Tapia: *f.* Cada uno de los trozos de pared que de una sola vez se hacen con tierra amasada y apisonada en una horma (Real Academia Española, 2001)

5. La metodología seguida se basa en buena parte en la diseñada por el Prehistoric Ceramics Research Group (Prehistoric Ceramic Research Group 1995). Las directrices propuestas por este grupo se orientan a un estudio integral de un conjunto de cerámica procedente de una excavación arqueológica puntual o continuada.

A partir de estas observaciones se llevaron a cabo distintos niveles de comparación:

– entre las muestras de cada grupo (internas).

– de los minerales y rocas identificados como desgrasante y la geología de la zona.

– entre las muestras de los distintos grupos, en especial con las de referencia.

Estas dos últimas fases se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Cerámico y Petrografía de la Universidad de Southampton (Reino Unido).

Cabe destacar la importancia de la observación macroscópica, ya que ésta es la base para el estudio posterior en el cual el análisis por lámina delgada constituye un método para confirmar o afinar la identificación de las pastas o *fabrics* hechas anteriormente. Estas clasificaciones macroscópicas, una vez confirmadas o modificadas, devienen el modelo para poder añadir un número más alto de fragmentos en el estudio a un menor coste (es decir, sin que sea necesario el análisis de todos los fragmentos).

3. RESULTADOS

3.1. *Cerámica gris de la costa catalana*

La observación macroscópica permitió diferenciar un total de 9 tipos de fábrica (ver tabla 1). De entre ellos, sólo uno, representado por el grupo IX, se diferenciaba de forma significativa del resto, que a pesar de las pequeñas diferencias observadas, mantienen una gran homogeneidad.

El análisis petrográfico confirmó que 1 de las muestras (E93-06144-178, lám. 24) era completamente distinta del resto, cosa que ya se apuntaba a modo macroscópico. Por lo que respecta al resto, no hay diferencias significativas a nivel de composición, forma y distribución del desgrasante: todas ellas presentaban desgrasante principalmente de cuarzo, feldespato y ocasionalmente fragmentos de rocas, así como elementos férricos y calizos (ver tabla 2). El resultado fue la unificación de los tipos anteriores en tres grandes tipos en función básicamente de a) las proporciones de cada tipo de desgrasante, b) la granulometría y c) la apariencia general (figura 1):

- **Grupo A**: cocción reductora, arcilla de color gris oscuro casi negro, gran cantidad de desgrasante, principalmente formado por cuarzo pero también feldespato potásico, y una proporción relativamente alta de láminas finas o muy finas de mica moscovita. Incluye las láminas 1 (tipo gccI); 8 (tipo gccII); 14, 15 y 16 (tipo gccIV); 20 (tipo gccV) y 23 (tipo gccVIII) (con menor moscovita).
- **Grupo B**: cocción no totalmente reductora, lo cual permite observar una coloración marrón oscuro a naranja de la arcilla que indica la presencia de contenido en hierro.
  – **subgrupo B1**: presenta una marcada birrefringencia que se hace manifiesta al girar la platina del microscopio y que puede indicar que la cocción de realizó a una temperatura inferior a los 750º (Peacock, com.pers). La arcilla es de color tono marrón a naranja oscuro y el desgrasante similar en tipo (predominio del cuarzo) y tamaño (0,05-0,1 mm) al del grupo A excepto por la alta proporción de moscovita. Incluye las láminas 2, 3 y 4 (tipo gccI); 9, 11, 12, 13 y 89 (tipo gccIII); 17 (tipo gccIV); 22 (tipo gccVII).
  – **subgrupo B2**: arcilla de tonos más claros (naranja a marrón claro) y desgrasante, aunque muy parecido al del subgrupo B1, de granulometría ligeramente mayor (hasta 0,3 mm). Incluye las láminas 10 (tipo gccIII); 18 y 19 (tipo gccV).
- **Grupo mixto o A-B**: con rasgos similares a las del grupo A (alta proporción de moscovita) y aspectos parejos al grupo B (componentes de hierro en la arcilla, cocción en atmósfera no totalmente reductora, más porosidad y granulometría de mayor tamaño). Incluye las láminas 5, 6 y 7 (tipo gccII); y 21 (tipo gccVI).

Tipo	Color	Dureza	Textura/ tacto	Fractura	Técnica	Inclusiones	Otros
GccI	Gris oscuro	Dura	Suave	Suave	Torno rápido	Extremadamente fino (no identificables macroscópica-mente)	superficies negras (engobe) y paredes muy finas-finas (1,8 - 3 mm)
GccII	Gris claro con algunas franjas en el margen de color marrón	Dura	Suave	Suave	Torno rápido	Muy fino (< 0,1 mm); se observan granos de cuarzo o feldespato	Superficies negras (engobe) y paredes finas (3-5 mm)
GccIII	Gris parduzco	Dura	Suave	Suave/fina (irregulari-dades pequeñas, muy juntas)	Torno rápido	Muy fino (< 0,1 mm); se observan granos de cuarzo y feldespato	-
GccIV	Gris claro	Muy dura	Suave	Suave/fina (irregulari-dades pequeñas, muy juntas)	Torno rápido	Muy fino y esporádicamente de tamaño mediano (0,25-0,5 mm)	-
GccV	Bicolor: núcleo marrón, márgenes y superficie gris oscuro/negro	Dura	Suave	Suave/fina (irregularid ades pequeñas, muy juntas)	Torno rápido	Extremadamente fino (no identificables macroscópica-mente)	Paredes muy finas (1,8 mm) a medianas (5 mm)
GccVI	Bicolor: gris excepto el margen exterior	Dura	Suave	Fina	Torno rápido	Esporádico y fino (< 0,1 mm); partículas de cuarzo y feldespato	Superficies gris oscuro/negro; paredes medianas (5 mm) y factura similar al tipo V
GccVII	Gris oscuro	Dura	Suave	Suave	Torno rápido	Extremadamente fino (no identificables macroscópica-mente)	Paredes medianas (5-6 mm)
GccVIII	Gris oscuro casi negro	Dura	Suave	Suave	Torno rápido	Extremadamente fino (no identificables macroscópica-mente)	Paredes medianas (6 mm)
GccIX	Gris oscuro	Dura	Grosera	Muy irregular	Torno lento	Abundante y grosero (0,5 -1 mm); granos de cuarzo, feldespato y micas	-

Tabla 1. Resumen de las principales características macroscópicas de los tipos de fábrica de la cerámica gris de la costa catalana.

Cabe decir que estas últimas láminas apuntaban a la posibilidad de que el grupo A estuviera también fabricado con una arcilla con componentes de hierro pero que debido a la cocción en atmósfera reductora esto no fuera detectable al microscopio petrográfico. Sea como fuere, queda claro que en algunos casos se consiguió una mejor atmósfera de cocción reductora (grupo A) que en otros (grupos B y A-B).

3.2. Cerámica gris medieval

Para este grupo se tuvo en cuenta un mayor número de fragmentos (485 en total, de los cuales se seleccionaron 114). Estos resultaron muy difíciles de sistematizar debido a que presentaban rasgos macroscópicos muy similares. A pesar de ello, se llegaron a identificar 8 grandes tipos de fábricas (ver tabla 3).

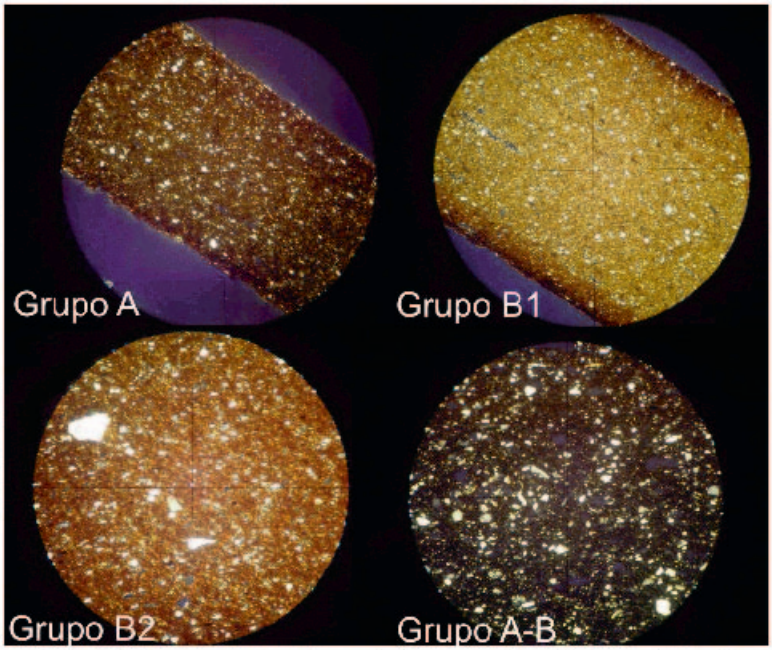


Figura 1. Ejemplo de muestras de cada uno de los grupos identificados microscópicamente para la cerámica gris de la costa catalana (microfotografías a 40X, nícoles cruzados).

Nº inventario	Muestra (lám.)	Mayoritarios	Minoritarios	Ocasionales
E97-06287-71	1	Q	Mu, K, Qu, Gr	P
E00-05023-1232	2	Q	K, Fe, Mu	Qu, Bi
E93-06144-181	3	Q	K, Fe, Mu	Qu, P, Bi, O
E95-06240-1580	4	Q	K, Fe	Qu, Mu, C, P, Gr, O
E92-06086-1480	5	Q, Mu	K, Fe, Bi	Qu, C, Gr, P, O, M
E96-06281-485	6	Q, Mu	K, Fe, C	P, Qu, O
E00-05023-gcc	7	Q	Mu, K, Fe	Qu, P, O
E01-05037-503	8	Q	Mu, K, Fe, C	Qu, P, Gr, O
E95-06250-2058	9	Q	K, Fe,	Mu, Qu, C, P,
E96-06281-484	10	Q, K	Fe, Mu	C, Qu, Bi, O
E93-06144-182	11	Q	K, Fe,	Mu, Qu, P, Bi, Gn, O
E99-06340-2278	12	Q	K, Fe, Nf	C, Qu, Ca, Bi
E99-06344-108	13	Q, K	Fe, Mu, C	Qu, P, O
E93-06144-176	14	Q	Mu, K, Fe	Bi, Qu, C, P, O
E94-06175-894	15	Q	Mu, K	C, Bi, Qu, Gr?
E95-06240-1579	16	Q, Mu	K, Fe	C, Qu, P, Bi
E99-05022-s/n	17	Q	Fe, K	Mu, Nf, Qu, P, Bi, Ca
E93-06144-184	18	Q	Fe, K, Qu	M, Nf, P, Mu, Bi,
E92-06086-1482	19	Q	K, Fe, Qu	C, P, Mu, Bi, O
E97-06287-67	20	Q, K	Qu, Fe	P, Mu
E93-06144-185	21	Q	K, Fe, Nf, Qu	P, Mu, Gr, M
E95-06250-2056	22	Q, K	Fe, Nf, C	Mu, P, Gr, M
E93-06144-183	23	Q, K	Qu, Fe	Mu, P, Nf
E93-06144-178	24	Q, K	Gr, Bi, P, Qu,Gn	O
E01-09048-2141	89	Q, K	Fe,	Nf, Bi, Qu, P, Bi

Tabla 2. Composición mineralógica del desgrasante (cerámica gris de la costa catalana). Leyenda: Q = Cuarzo; K = Feldespatos Potásicos (ortosa); P = Plagioclasa; Mu = Moscovita; Bi = Biotita; Fe = Mineral de Hierro; Nf = Nódulos de arcilla rica en hierro; C = Caliza (arcilla o roca micrítica); O = Olivino; Z?= Zirconio? (mineral pesado); Ca = Calcita; Qu = Cuarcita o fragmentos de roca arenisca; Gr = fragmento de roca granítica; M = fragmento de roca metamórfica; Gn = fragmento de gneiss/pizarras micáceas.

Tipo	Color	Dureza	Textura/tacto	Fractura	Técnica	Inclusiones	Otros
GmI	Gris claro	Dura	Suave, ocasionalmente grosero	Fina/ irregular	Torno lento	Presencia variable; granulometría variable (muy grosera a fina); granos de cuarzo y feldespato	-
GmII	Gris parduzco	Dura	Grosero	Irregular	Torno lento	Granulometría muy variable; granos de cuarzo y feldespato	Bastante porosa
GmIII	Variable, de gris parduzco a rojo oscuro	Dura	Suave, ocasionalmente grosero	Irregular	Torno lento	Presencia variable; granulometría variable (muy grosera a media); granos de cuarzo y feldespato	Núcleo gris, margenes marrones
GmIV	Muy oscuro, casi negro	Dura	Grosero	Muy irregular	Torno lento	Abundantes, grosero; granos de cuarzo y feldespato	-
GmV	Gris claro	Dura	Áspera (abundantes granos en la superficie)	Irregular	Torno lento	Común; granulometría de media a muy grosera; granos de cuarzo y feldespato	-
GmVI	Rojizo, marrón-rojizo	Dura	Grosero	Irregular	Torno lento	Abundante; granulometría bastante homogénea (media-grosera); granos de cuarzo y feldespato	Ocasionalmente superficie gris
GmVII	Variable gris-marrón-rojizo	Dura	Suave, ocasionalmente grosero	Irregular	Torno lento	Presencia variable; granulometría fina-grosera; granos de cuarzo y feldespato	Muy parecido al tipo III pero más depurada
GmVIII	Gris oscuro-marrón oscuro	dura	Suave, ocasionalmente grosero	Fina/irregular	Torno lento	Presencia variable; granulometría fina-grosera; granos de cuarzo y feldespato	Parecido al tipo III pero más depurada

Tabla 3. Resumen de las principales características macroscópicas de los tipos de fábrica de la cerámica gris medieval.

La observación con lupa binocular y, posteriormente al microscopio de luz polarizada, puso de manifiesto que el tipo de desgrasante era muy común en todos los fragmentos (ver tabla 4). Se trata de desgrasante de origen granítico, con predominio de los fragmentos de cuarzo, feldespatos (principalmente ortosa pero también alguna plagioclasa) a veces alterados a sericita, e incluso fragmentos de rocas graníticas que combinan estos dos minerales.

La presencia de micas, en especial de biotita también es destacable en algunas muestras. Entre las inclusiones menos presentes nos encontramos biotita, componentes férricos, nódulos de arcilla distinta a la matriz, fragmentos de roca de composiciones varias.

Nº inventario	Muestra (lám.)	Mayoritarios	Minoritarios	Ocasionales
E01-38167-728	72	Mu, Q	K, Gr	Fe, P, Nf
E01-32108-40	73	Mu	Gr, Q, K,	C, P, Fe, Rf, Nf, Py
E01-32117-105	74	Q	Gr, N, K, C,	Qu, Fe, Mu, Bi, M
E01-32106-23	76	Q, K	Mu, Gr	Fe, Nf, P, Rm
E01-32200-162	77	Mu	Q, Gr, K,	Nf, Fe, Qu, P, Rm
E01-38167-657	78	Mu, Q	Gr, K, C	Fe, Nf, P, M, Qu, Rm
E01-32117-122	80	Q	Gr, N, K	Qu, Fe, Mu, Bi, M
E01-32108-42	81	Q	Gr, Mu, K, Fe	Qu, P, C, Rm, Bi, O
E01-32106-19	82	Gr	Q, K, N	Qu, C, Mu, Bi, M
E01-32201-378	83	Q	Mu, K	Gr, C, Nf, Fe, Bi, Rf
E01-38205-986	84	Q, K	Gr,	Fe, Qu, P, Mu, Bi, M
E01-38205-986	85	Q	Gr, N, K	Qu, Fe, Mu, Bi, M
E01-32106-19	86	Mu, Gr	Q, K	Nf, Fe, Rf, M, Bi, P
E01-38205-986	87	Q	K, Gr,	Fe, Qu, P, Bi
E01-32111-87	88	Gr	Q, K	N, C, Fe, P, Mu, M, Rm
E01-32117-117	101	Gr, Q	K, Fe	N, Mu, Bi, P
E01-38205-986	102	Gr, Q, K	Fe, N	C, Mu, Bi, M, P
E01-32110-62	103	Gr, Q, K		Fe, N, Qu, P, Mu, Bi
E01-32100-9	104	Gr, Q	K, Nf, N	Fe, Mu
E01-38167-687	105	Gr, Q	K	Fe, N, Mu, Bi, M, Qu, Rf
E01-32108-39	106	Gr	Nf, Q,	Fe, Mu, N, P, Qu, Rf
E01-32110-60	107	Gr, Q	K, C	Fe, P, Mu, Bi, Qu
E01-32202-327	108	Q	K, Fe, Nf	Gr, Mu, N, M, Py
E01-32201-208	109	Gr	Q, N, K	Fe, C, Qu, Rm, Mu
E01-38167-782	110	Q	K, Nf	Gr, Fe, C, Mu, N, Rf
E01-38205-986	111	Q	K, Gr,	Fe, Qu, P, Mu, Bi, M
E01-32202-297	112	Q	K, Mu	Fe, Gr, P, Qu, M

Tabla 4. Composición mineralógica del desgrasante (cerámica gris medieval). Leyenda: Q = Cuarzo; K = Feldespatos Potásicos; P = Plagioclasa; Mu = Moscovita; Bi = Biotita; Fe = Minerales de Hierro; Nf = Nódulos de arcilla rica en hierro; Nm = Nódulos de arcilla rica en mica; N = Nódulos de arcilla; Rf = Fragmentos de roca rica en hierro; Rm = Fragmentos de roca rica en mica; C = Caliza (arcilla o roca micrítica); O = Olivino; Z?= Zirconio? (mineral pesado); Ca = Calcita; Qu = Cuarcita o fragmentos de roca arenisca; Gr = fragmentos de roca granítica; M = fragmentos de rocas metamórficas; Gn = fragmentos de gneiss/pizarras micáceas.

Las variaciones detectadas no son suficientes para distinguir producciones, ya que se pudo observar (también a nivel macroscópico) que estas inclusiones aunque aparezcan en proporciones relativamente significativas, a menudo se encuentran o están ausentes en muestras de una misma fábrica. Así pues, parecen responder a las variaciones naturales en la distribución del desgrasante en la matriz.

Aún así, como en el caso de las gris de la costa catalana, las muestras analizadas se han podido agrupar en tres grandes grupos según el aspecto general de la arcilla (figura 2):

- **Arcilla con alto contenido en mica**: presentan una arcilla con abundantes laminillas de moscovita y variable proporción de partes de un ligero tono marrón de la arcilla que denota la presencia de componente ferroso (láminas 72, 73, 76, 77, 78, 81, 83, 86, 87 y 112). Aún así, estas muestras no presentan una semejanza suficientemente acusada como para confirmar que pertenezcan a una misma producción: por un lado hay muestras con granulometría muy heterogénea no-seriada mientras que otras muestras presentan un desgrasante muy homogéneo en cuanto a medidas y proporción.
- **Arcilla con alto contenido en hierro**: es el grupo más representado (láminas 74, 75, 80, 82, 84, 85, 88, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109 y 110) e incluye muestras con arcilla homogénea, roja, desgrasante abundante, heterogranular seriado pero mal clasificado, y muy vesiculares, muestras con arcilla menos homogénea, y muestras con menos porosidades.

- Un único fragmento (lámina 111) realizado en una arcilla que presenta un gran parecido con las muestras de referencia de época ibérica realizadas en arcilla con contenido calizo aunque el tipo de desgrasantes y su granulometría las distingue claramente. A pesar de que no ha sido posible realizar análisis químicos que permitieran concretar la composición de esta arcilla, el color (ocre-amarillento) y la comparación con otras muestras nos hace pensar en el uso de una **arcilla con menor proporción de contenido en hierro** que la del grupo anterior.

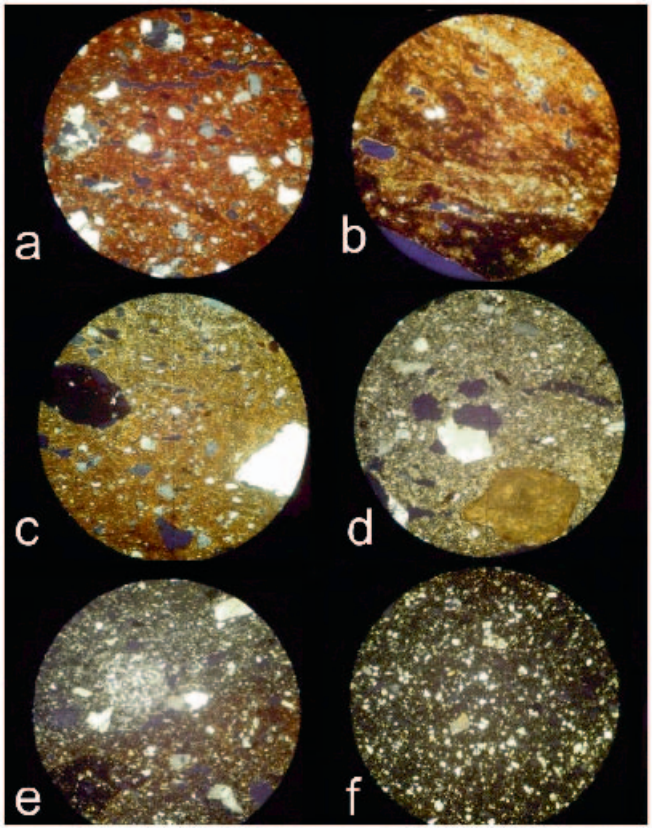


Figura 2. Ejemplos de muestras de cada uno de los grupos identificados para la cerámica gris medieval: grupo de arcilla rico en hierro (a, b, c), grupo de arcilla con menor proporción de contenido en hierro (d), y grupo de arcilla rico en mica (e, f) (microfotografías a 40X, nícoles cruzados).

3.3. Muestras de referencia

Se trata de un grupo muy heterogéneo, en el cual destaca la identificación de dos fragmentos absolutamente distintos al resto ya que contienen inclusiones de origen volcánico. Uno de ellos presenta abundantes inclusiones volcánicas (piroxenos) y rocas ígneas, así como arcilla rica en hierro. La comparación con muestras de referencia de la Universidad de Southampton despejó toda clase de dudas: se trata de un fragmento importado del área de Nápoles (Campania), por ser estas inclusiones características del área de influencia del Vesubio. El otro fragmento presenta principalmente piroxenos, pero el aspecto general de la muestra es distinto a la anterior y no se ha podido localizar una procedencia posible aún.

Las muestras de referencia de época ibérica presentan todas un desgrasante muy semejante, aunque en proporciones y granulometría distintas. Por lo que respecta a los tipos de arcilla utilizados, se comprobó

también esta diversidad en relación a los dos grupos anteriores, ya que además de encontrarnos con vasijas hechas en arcilla con alto contenido en mica y alto contenido en hierro, nos encontramos también con un grupo de arcilla con alto componente calcáreo o calizo.

Los fragmentos de los silos son incluso más heterogéneos, por lo cual nos hemos limitado a intentar establecer correlaciones entre estas muestras y los grupos anteriores, con resultados muy dispares.

4. CONCLUSIONES

De entrada, cabe destacar la identificación de muestras claramente foráneas, una de ellas fácilmente identificable con las producciones campanas (bahía de Nápoles, Italia)[6] y la otra de procedencia no identificada completamente pero sin duda de procedencia no local dada la presencia de piroxenos e inclusiones de origen volcánico. Estos hallazgos corroboran lo que ya se había apuntado gracias a los fragmentos identificados como ánforas itálicas, bien por la forma del labio bien por el aspecto macroscópico de la pasta: la presencia de objetos de comercio con la península itálica en los últimos tiempos del poblado ibérico, aunque hasta la fecha los testimonios de esta actividad sean más bien escasos en este yacimiento en comparación con los poblados de la costa.

Por lo que respecta al resto del conjunto, no hay elementos claros para proponer un origen no-local. El contexto geológico de la zona dónde se halla este yacimiento (comarca de Osona), se compone de una zona norte que forma parte de sistema montañoso del Prepirineo y una zona sur dominada por materiales más antiguos que forman el macizo del Montseny. En el Prepirineo, como en el Pirineo, abundan los granitos, rocas metamórficas y calizas, pero además en el sector norte de la comarca hay numerosas formaciones sedimentarias (sector Bellmunt y dels Munts).

En el Montseny hallamos rocas plutónicas (especialmente granitos y granodioritas), sedimentarias (calizas y conglomerados) y en la parte superior, metamórficas (pizarras, gneiss, esquistos e incluso algunos mármoles) (Busquets *et al.,* 1979, Reguant *et al.,* 1986).

Por lo tanto, la composición de las inclusiones observadas en la mayor parte de los fragmentos analizados concuerda perfectamente con las aportaciones de las formaciones montañosas alrededor del área de estudio y que podrían ser recogidas por los ríos que bajan de estas montañas, principalmente el río Ter. Es posible que la arcilla proceda de zonas de recogida relativamente cercanas a l'Esquerda: la presencia de feldespatos asociados al cuarzo, así como de fragmentos de roca granítica apuntan a depósitos de origen granítico, que podría proceder de los lechos de este río. Por otro lado, el alto contenido en hierro de podría proceder de la zona llamada Guilleries, donde también hay formaciones calizas.

En el caso de la cerámica gris de la costa catalana, destaca la gran homogeneidad del conjunto y a pesar de algunas diferencias detectadas, éstas responden a variaciones no discriminatorias. El tamaño del desgrasante y su subangularidad indica que se trata de inclusiones naturales en la arcilla y que probablemente ésta sufrió un proceso de depuración. A pesar de que el hallazgo de algunas piezas de tipología no habitual que parece indicar que en l'Esquerda pudiera existir un centro productor de este tipo de cerámica, no hay elementos claros en el estudio de las pastas para distinguir producciones de gris de la costa catalana que podrían haber sido fabricadas en l'Esquerda de producciones que pudieran proceder de otros centros productores del noreste peninsular (actual Cataluña).

6. Este fragmento formaba parte del relleno de un silo; creemos que se trataría de una intrusión procedente de los niveles de época tardoibérica en dónde se excavó este silo.

La cerámica común ibérica es mucho más heterogénea: las diferencias en la arcilla y el desgrasante son muy numerosas. Esto puede reflejar la presencia de vasijas de diversos centros productores aunque geográficamente cercanos que intercambian productos, al estilo de un mercado a pequeña escala en el propio poblado de l'Esquerda. Aún así, no hay que descartar la posibilidad de un centro productor utilizando más de un tipo de arcilla. Por otro lado, la gran disparidad de fábricas identificadas en los silos altomedievales refleja la inestabilidad del período. Es posible que, por un lado, poblaciones foráneas propiciaran la llegada de recipientes de otros lugares, los cuales tienen un aspecto muy distinto a otras producciones también halladas en los silos que se asemejan a los tipos posteriores (gris medieval).

Finalmente, la gris medieval vuelve a ser muy homogénea en cuanto a composición. Destaca el hecho de que encontremos como en la gris de la costa catalana piezas en arcilla con alto contenido en mica, cosa que no sucede en la cerámica ibérica común ni en la encontrada en los silos. Teniendo en cuenta los análisis realizados sobre esta cerámica por el Dr. M. Vendrell, (Universidad de Barcelona), en los que se identificó un tipo característico de l'Esquerda, diferenciado incluso de los de Vic, a escasos 10 km, nuestros resultados corroboran que esta cerámica sería producida localmente.

Por último, queda claro que no es posible diferenciar producciones en base exclusivamente a estas observaciones y que los grupos establecidos a partir de los rasgos petrográficos no coinciden con las clasificaciones hechas a nivel macroscópico. Por lo tanto, una clasificación fiable del resto del material solamente contando con el examen visual no es posible y, en consecuencia, estos resultados permanecen preliminares hasta la aplicación de otro tipo de análisis que pueda ayudar a esclarecer un poco más el panorama.

BIBLIOGRAFÍA

BUSQUETS, P.; DOMÍNGUEZ, A., y VILAPLANA, M. 1979: *Geologia d'Osona.* Escola Universitaria de Mestres d'Osona. Vic.

OLLICH, I. 2003: *L'Esquerda. Memòria de les excavacions arqueològiques. Àrea medieval. Campanyes 2000-2001.* Roda de Ter (inédita).

OLLICH, I. y ROCAFIGUERA, M. 1994: *L'oppidum ibèric de l'Esquerda (Roda de Ter, Osona), Memòries d'Excavacions Arqueològiques, 7.* Departament de Cultura, Generalitat de Catalunya. Barcelona.

PREHISTORIC CERAMIC RESEARCH GROUP, 1995: *Guidelines for the Analysis and Publication of Later Prehistoric Pottery,* Occasional Papers 1.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2001: *Diccionario de la Lengua Española,* vigésima segunda edición, Madrid.

REGUANT, S.; BUSQUETS, P. y VILAPLANA, M. 1986: *Geologia de la Plana de Vic.* Eumo Ed. Vic.

ROCAFIGUERA, M. 2000: *L'Esquerda. Memoria de les excavacions arqueològiques.* Roda de Ter (inédita).

ROCAFIGUERA, M. 2004: *L'Esquerda (Roda de Ter, Osona). Àrea ibèrica. Memòries de les excavacions 2000-2001.* Roda de Ter (inédita).

RODRIGUEZ, A.; PRADELL, T.; MOLERA, J. y VENDRELL, M. 2003: *La ceràmica de la costa catalana a Ullastret.* Museu d'Arqueologia de Catalunya-Ullastret. Girona (1ª edición).

VENDRELL, M.; PRADELL, T.; GARCIA VALLÈS, M.T. y MOLERA, J. 1997: "Producció i difusió de la ceràmica gris a Catalunya durant l'Edat Mitjana". *Cerámica medieval catalana. Quaderns Científics i Tècnics* 9. Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Diputació de Barcelona. Barcelona: 263-272.

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA COMPOSICIÓN DE LOS VIDRIADOS DE DELLA ROBBIA DE SEVILLA CON UN ESPECTRÓMETRO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

QUANTITATIVE ANALYSES OF THE COMPOSITION OF DELLA ROBBIA GLAZES FROM SEVILLE WITH A PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER

A. GIANONCELLI[1], J. CASTAING[1], A. BOUQUILLON[1], A. POLVORINOS[2], P. WALTER[1]

(1) Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France – UMR171, CNRS. Palais du Louvre. Porte des Lions, 14 Quai François Mitterand. 75001 Paris.
(2) Dpto. de Cristalografía Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes s/n 41071 Sevilla, España, polvorin@us.es

RESUMEN

Un espectrómetro portátil de FRX desarrollado en el *Centre de Recherche et de Restauration des Musée de France* (C2RMF), se ha utilizado para el análisis de dos esculturas vidriadas de la catedral de Sevilla que son atribuidas al taller de Della Robbia. El objetivo de este estudio ha sido la realización del análisis cuantitativo de la variabilidad de la composición química elemental de los vidriados. Los resultados se comparan con los obtenidos previamente con PIXE en el C2RMF en otras obras de arte de Della Robbia pertenecientes al Museo del Louvre. Se interpretan los resultados en base a los conocimientos que se tienen sobre la producción florentina en el Renacimiento.

ABSTRACT

A portable XRF spectrometer developed at the Centre de Recherche et de Restauration des Musée de France (C2RMF), has been used for the analysis of two glaze sculptures located in the cathedral of Sevilla (Spain) attributed to the Della Robbia workshop. The aim of this study is to perform a quantitative analysis of the elemental composition of the glazes. The results are compared with the ones previously obtained with the PIXE at the C2RMF on other Della Robbia works of art located at the Louvre Museum. The data provide information on the two sculptures, which is discussed in relationship with what is known on the Florentine production at the Renaissance.

Palabras clave: fluorescencia de rayos X portátil, cerámica, vidriados, Renacimiento, Della Robbia, Catedral de Sevilla.

Key words: *portable X-Ray fluorescence, ceramics, glaze, Renaissance, Della Robbia, cathedral of Seville.*

I. INTRODUCCIÓN

La intensa producción cerámica del taller de la familia Della Robbia en Florencia entre los siglos XV y XVI se destaca por los colores azul, blanco, amarillo, etc. Un conjunto numeroso de cerámicas típicas de la producción de los Della Robbia ha sido objeto de investigaciones en los que ha participado el C2RMF con motivo de una reciente exposición realizada en Niza y Sevres, y los resultados de dicha investigación han sido publicados en diversos artículos (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Zink *et al.,* 2004; Bouquillon *et al.,* 2004; Zucchiati *et al.,* 2006). Los conocimientos adquiridos sobre los materiales utilizados por los Della Robbia para la fabricación de dichos objetos son útiles para evaluar otras obras así como para contrastar los conocimientos de que se dispone sobre el taller Della Robbia.

Por otra parte el laboratorio del C2RMF está implicado en varios programas para el desarrollo de instrumentación dedicada al estudio de objetos del patrimonio, en concreto las técnicas de fluorescencia de rayos X (FRX) y de difracción de rayos X integrados en un sistema portátil. Esta actividad se realiza en el marco del programa EU-ARTECH financiado por la Unión Europea (véase www.eu-artech.org/).

El estudio de dos obras de Della Robbia de Sevilla ha permitido probar los procedimientos de análisis por fluorescencia de rayos X portátil así como explorar los límites de la técnica en cuanto al análisis cuantitativo de los vidriados. A partir de una solicitud dirigida a los responsables de la Catedral de Sevilla se han realizado dichas medidas en las dos obras de Della Robbia sitas en la misma y una parte de los resultados ha sido ya objeto de publicación (Gianoncelli *et al.,* 2006).

II. DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE ARTE

La **Virgen de la Granada** es un retablo de gran tamaño (180x250cm) que está localizado en la Capilla de Scalas de la Catedral. Este retablo se menciona en el catálogo de Gentilini (1992: 266) y se atribuye a Andrea della Robbia y podría haber sido fabricado alrededor de 1520. La obra está formada por dos escenas (figura 1); en la escena de la base se representa a la Virgen y el Niño rodeados de santos; en la superior está el Crucificado. Estas dos escenas están enmarcadas por elementos cerámicos y separados por una fila de cinco ángeles.

Esta obra cerámica, dadas sus dimensiones, está formada por varias secciones unidas después de su realización. El examen visual muestra que incluso las partes homogéneas de cada escena están constituidas por fragmentos de orígenes diferentes. Esto también se observa para los fondos azules, especialmente en la sección superior del crucificado. Más abajo, los cinco ángeles están cubiertos por dos tipos de vidriado blanco, uno fino, que no cubre casi los detalles del modelado, el otro es más espeso y ligeramente azulado. Estos aspectos tienen que ver en parte con la propia fabricación de la Virgen de la Granada así como con las restauraciones realizadas, en particular después de su instalación en la catedral a principios del siglo XX (Del Valle Gomez, 1996). En algunos casos se observa la utilización de fragmentos de cerámica vidriada diferente para el relleno de ciertas faltas. Los colores de la Virgen de la Granada están dominados por el azul y el blanco, con sólo algunos otros colores (amarillo, verde, malva, negro, gris) en los frisos de la sección principal (figura 1).

La **Virgen del Cojín** es una obra de pequeño tamaño (80x70cm) situada en la capilla de Santiago Apóstol (figura 2). Hay obras análogas a ésta en el Museo de Bargello en Florencia (Gentilini, 1992: 233 y 280) y en el Museo Nacional de Palermo (Gentilini, 1992: 174). La Virgen del Cojín está realizada en blanco y azul y presenta numerosas zonas pintadas y determinadas zonas sugieren la presencia de restos de dorados.

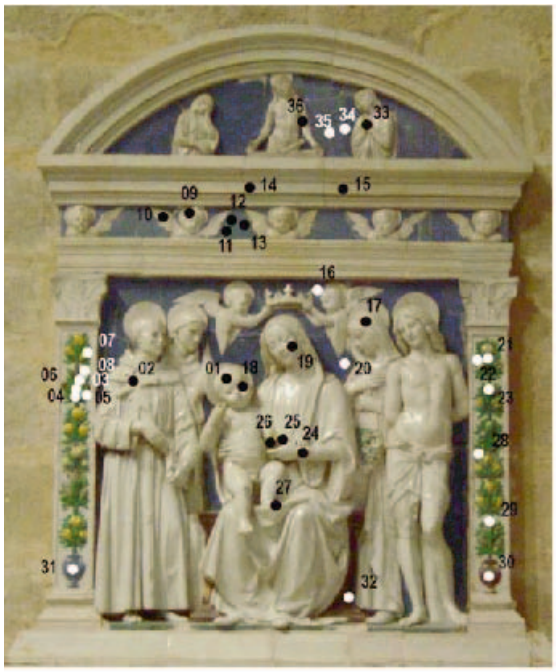


Figura 1. Posiciones de los 36 espectros FRX de la Virgen de la Granada.

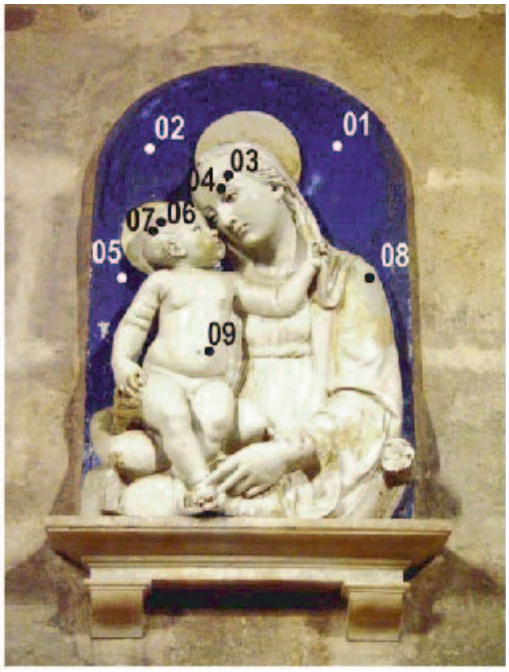


Figura 2. Posiciones de los 9 espectros FRX de la Virgen del Cojín.

III. MÉTODOS EXPERIMENTALES

La composición química se ha determinado en diversos puntos de la superficie de las obras por fluorescencia de rayos X (FRX). Los datos cuantitativos son indispensables para hacer comparaciones con los datos existentes obtenidos por microscopia electrónica de barrido y con la ayuda de un acelerador de partículas en PIXE (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Bouquillon *et al.,* 2004; Zucchiati *et al.,* 2006).

Las medidas se han realizado con un espectrómetro portátil de FRX, construido en el laboratorio del C2RMF. La fuente de rayos X está formada por un tubo Bullet de MOXTEK con un ánodo de plata: potencia 3 W; 40 kV; 90 µA. La medida de los rayos X de fluorescencia se realiza con un detector «Silicon Drift» (Röntec GmbH) refrigerado por efecto Peltier a –10°C, teniendo una resolución de 150 eV a 5,9 keV. La adquisición de cada espectro se realizó durante 900 segundos. Los puntos de análisis se determinaron en la intersección de dos láser. El aparato se sitúa sobre un trípode, lo que permite ponerlo frente a los puntos de medida elegidos, y el sistema estaba soportado por un andamio delante de las obras.

Las medidas de la Virgen de la Granada se han realizado utilizando un flujo de helio entre el detector y el objeto. Su utilización se debe a que las líneas del silicio (K – 1,74 keV) y del plomo (M – 2,34 keV) se absorben en los 2cm de aire recorrido por los rayos X (90% et 50% de absorción, respectivamente) entre objeto y detector, y no lo son en helio, lo que permite mejorar los espectros para su análisis cuantitativo.

El fundamento del análisis químico por FRX se basa en la relación entre la superficie de las líneas de emisión de cada elemento y sus concentraciones; sin embargo la relación es compleja y necesita el empleo de modelos sofisticados para establecerla; para ello se ha empleado el programa PyMCA desarrollado en el ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) por Solé *et al.* (2007). Este programa permite simular los espectros a partir del método de parámetros fundamentales o utilizando patrones internos (composición de la matriz), y entre otros aspectos incluye las correcciones de absorción de rayos X en el aire y tiene en cuenta el espectro de excitación de la fuente de rayos X (ánodo de Ag) los cuales se evalúan a partir de los espectros de fluorescencia de muestras patrones.

Para la determinación de las concentraciones en los puntos analizados se ha utilizado el método de parámetros fundamentales. En nuestras condiciones de trabajo las líneas de baja energía no pueden ser simuladas, lo que no ha permitido determinar las concentraciones de elementos como Al, Mg o Na, por lo que los valores no son normalizados al 100%. La calidad de los resultados así pues depende directamente de la reproducibilidad de los parámetros de medida (dosis de rayos X, distancia de trabajo, mezcla aire-helio). Los cálculos asimismo presuponen que la materia analizada es homogénea en profundidad, lo cual es cierto en el caso de los vidriados de Della Robbia (espesores del orden de 100µm) como lo demuestran nuestros trabajos anteriores. Sin embargo, hay que indicar que un vidrio con un espesor de 100µm, y una composición de 45% de PbO ($Pb_{0,2}Si_{0,9}O_2$) transmite el 45% de los rayos X correspondientes a la línea K del Sn (25,3 keV) y en estas condiciones una cerámica vidriada no es homogénea. Por ello se han utilizado los valores de concentración de Sn deducidos de las líneas L (3.4 keV, 3.7 keV).

A pesar del carácter absoluto del método se han utilizado vidrios (Sg8) y muestras de composición conocida de Della Robbia para estandarizar el análisis, y se describe el procedimiento utilizado en Gianoncelli *et al.* (2006). Durante el cálculo se ajustaron los parámetros geométricos (distancias entre el detector, la muestra y la fuente de rayos X, así como la composición del medio gaseoso) a fin de obtener la misma composición de Pb-L(10,5 keV) y Pb-M (2,34 keV). El análisis de los resultados indica que los valores son satisfactorios salvo para el silicio, incluso utilizando el flujo de helio. Entre otros factores la reproducibilidad de los análisis dependen de la heterogeneidad (desconocida) en la superficie de los vidriados debido, por ejemplo, a su alteración superficial (Gianoncelli *et al.,* 2006).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los puntos analizados en cada obra se indican en las figuras 1 y 2, incluyen todos los colores y se han realizado en las partes de las obras que presentan un buen estado de conservación. Debido a que ciertas zonas son de difícil acceso para su análisis, se han elegido las partes más sobresalientes. Los colores blanco y azul son los dominantes en las dos obras (figuras 1 y 2) así como en la mayoría de la producción de los Della Robbia (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Bouquillon *et al.,* 2004; Zucchiati *et al.,* 2006), por lo que a continuación se detallan los resultados referidos a ambos colores en cada una de las obras.

Blanco

Las composiciones químicas de los vidrios blancos de la Virgen de la Granada y la Virgen del Cojín se indican en las tablas 1 y 2 respectivamente. En la sección basal de la Virgen de la Granada se han medido tres puntos (01, 02 y 19; figura 1 y tabla 1); sus composiciones son muy similares entre sí (PbO 35% - SnO_2 19%) lo que atestigua la homogeneidad de la escena principal de la obra. Las composiciones de los frisos laterales y superior se pueden dividir en varios grupos: los puntos 08 y 09 (figura 1) contienen 27% PbO y 18% de SnO_2 mientras que los puntos 10 y 14 contienen 28% PbO y 6,5% de SnO_2, los cuales visualmente presentan un vidriado espeso de color azulado. En la escena superior, los puntos 33 y 36 (figura 1) tienen bajos contenidos en Pb y Sn (19% PbO - 11% SnO_2).

En la cornisa, el punto 15 presenta la concentración más elevada de plomo (40% PbO – 10% SnO_2), y el fragmento cerámico incluido para restaurar la muñeca de la Virgen (punto 24) tiene las concentraciones más bajas (15% PbO – 3% SnO_2) así como un contenido elevado en Ca (tabla 1). Estos vidriados presentan un elevado rango de variación en Pb y Sn lo que sugiere un posible origen diverso de elementos estructurales así como la incidencia de restauraciones.

blanco	01	02	19	08	09	10	14	15	33	36	24
SiO_2	22,3	18,9	10,69	22,9	29,8	38,0	27,1	49,4	7,2	17,6	18,0
K_2O	3,0	1,7	1,97	1,5	3,1	3,4	2,9	5,7	1,5	0,9	2,1
CaO	1,8	2,3	0,83	0,8	1,2	2,6	1,8	4,0	1,3	0,1	**10,7**
Fe_2O_3	0,5	0,5	0,35	0,3	0,4	0,6	0,4	0,8	0,3	0,3	0,4
SnO_2 L	18,5	20,2	17,49	17,4	18,4	**6,7**	**6,1**	**10,3**	12,2	10,3	3,0
PbO L	33,2	35,3	34,83	26,4	27,4	28,3	28,2	40,0	**19,3**	**18,7**	**15,3**

Tabla 1. Virgen de la Granada. Composiciones de los vidriados blancos (% en peso).

La Virgen del Cojín es una obra menos compleja que la anterior, identificándose sólo dos tipos de vidriados blancos. La cara de la Virgen (puntos 03 y 04; figura 2; tabla 2) tiene una composición PbO 30% - SnO_2 13%, diferente al blanco del Niño en los puntos 06 y 09 (PbO 34% - SnO_2 17%). Esta última composición es muy próxima a la del blanco de la sección principal de la Virgen de la Granada (puntos 01, 02 y 19; figura 1). El punto 04 (figura 2) se ha medido en la ceja negra de la Virgen lo que explica el contenido en Mn. Finalmente el punto 08 que corresponde a una restauración del hombro de la Virgen (figura 2) es de una composición diferente (43% PbO 4 – 7% SnO_2) del fragmento, también de restauración, de la muñeca de la Virgen de la Granada (punto 24; tabla 1).

blanco	03	04	06	09	08
SiO_2	16,40	18,72	21,41	21,41	26,18
K_2O	0,92	1,11	1,22	1,37	2,46
CaO	0,79	0,65	1,14	1,23	2,13
TiO_2	0,00	0,00	0,06	0,02	0,06
MnO	0,04	0,17	0,06	0,06	0,05
Fe_2O_3	0,37	0,40	0,40	0,46	0,88
CoO	0,08	0,14	0,10	0,11	0,10
NiO	0,05	0,09	0,06	0,05	0,08
CuO	0,05	0,12	0,03	0,05	0,09
ZnO	0,02	0,03	0,00	0,02	0,06
SnO_2 L	12,96	12,42	16,74	17,03	**6,72**
PbO L	29,48	30,99	33,28	34,67	**42,46**

Tabla 2. Virgen del Cojín. Composiciones de los vidriados blancos (% en peso).

Dos pequeños fragmentos de cerámica vidriada (de dimensiones 2-5 mm) encontrados en la base a la izquierda de la Virgen de la Granada (figura 1) fueron recogidos y pulidos perpendicularmente a la superficie para hacer observaciones y análisis en microcopía electrónica de barrido (MEB). Las figuras 3 y 4 son imágenes de electrones secundarios correspondientes a cada fragmento. Los espesores de los vidriados varían entre 150 y 300µm, y presentan burbujas e inclusiones mayoritarias de SiO2 (cuarzo) de forma irregular. La superficie del vidriado 2 (figura 4) está cubierta por una capa de 30 µm de un material rico en CaO, y bajo ella el vidriado aparece dañado.

Se han realizado análisis elementales (MEB-EDS) de la matriz vidriada y los resultados se indican en la tabla 3, observándose que el fragmento nº 2 es análogo al de la restauración en el punto 08 de la Virgen del Cojín. El vidriado nº 1 es próximo a la composición de los puntos 10 y 14 del vidriado espeso y azulado de la Virgen de la Granada, al pie de la cual se han encontrado ambos fragmentos. La microestructura y la composición de estos fragmentos recuerdan las producciones de Buglioni, activo en Florencia en la época de los Della Robbia (Bouquillon *et al.,* 2004; Zucchiati *et al.,* 2006). Estos dos fragmentos provenientes de las obras de la catedral parecen estar relacionados bien con partes secundarias, o con restauraciones.

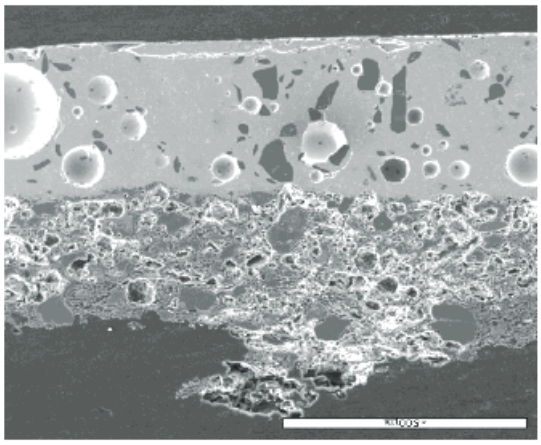


Figura 3. imagen MEB del fragmento n° 1 (escala 500 µm)

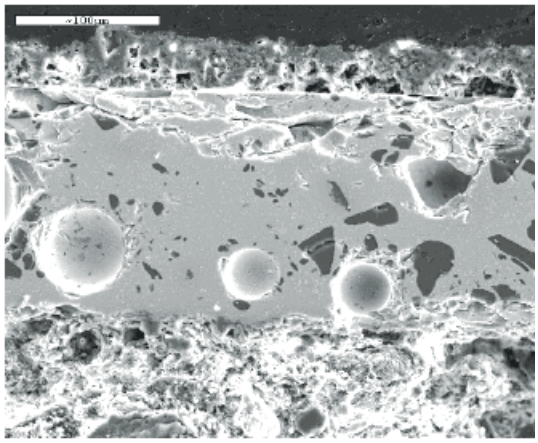


Figura 4. imagen MEB del fragmento n° 2 (escala 100 µm)

Una de las características distintivas de los vidriados blancos de los Della Robbia es su alto contenido en plomo y estaño, y en la tabla 3 se indican los valores promedio publicados correspondientes a objetos realizados desde el fin del siglo XV al comienzo del XVI (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Bouquillon *et al.,* 2004). Si se comparan los valores promedios (tabla 3) con los análisis (tablas 1 y 2), se observa que los puntos 01,02 y 19, así como los 08 y 09 de la Virgen de la Granada son compatibles con los resultados de Bouquillon *et al.* (2004) y de Zucchiati *et al.* (2003) y Bouquillon *et al.* (2002) respectivamente. Para la Virgen del Cojín los puntos 06 y 09 son compatibles con los de Zucchiati *et al.* (2003) y Bouquillon *et al.* (2002). Estos resultados indican que la escena central de la Virgen de la Granada y el niño de la Virgen del Cojín son producciones de Andrea della Robbia como sugieren los documentos históricos. Los pilares decorados de plantas y algunos angelitos (08 y 09) son también compatibles con la producción de Della Robbia. Las otras partes, tales como la escena superior de la Virgen de la Granada y la cabeza de la Virgen del Cojín, podrían ser cerámicas florentinas más tardías y podrían corresponder a producciones del taller de Buglioni.

Blanc	MEB EDS # 1	MEB EDS # 2	Bouquillon *et al.* 2004	Zucchiati *et al.* 2003; Bouquillon *et al.* 2002
SiO_2	49	41	33 – 43	40 – 45
K_2O	4	1.4	2	2.4
CaO	2	1.4	1 – 3	1 – 4
Fe_2O_3		1.3	0,3	0.6
SnO_2L	7	6	19 - 24	18 – 20
PbO	34	43	33 – 43	20 - 34

Tabla 3. Resumen de las concentraciones de los vidriados blancos.

Azul

Los vidriados azules han sido objeto de investigaciones específicas (Zucchiati *et al.,* 2003; Zucchiati *et al.,* 2006; Pappalardo *et al.,* 2004) y ocupan el fondo de las obras estudiadas (figuras 1 y 2), constituyendo un mosaico de piezas de tonos diferentes de las cuales todas no han sido analizadas. El colorante utilizado es el cobalto y está asociado a impurezas de Fe, Cu y Ni. Los resultados analíticos se indican en las tablas 4 y 5. En la tabla 5 se indican las composiciones medias de Zucchiati *et al.* (2003), Bouquillon *et al.* (2002) y Bouquillon *et al.* (2004). El punto 05 de la Virgen del Cojín es muy rico en zinc y corresponde a una restauración con pintura.

Azul	11	12	16	20	31	34	13	35
SiO_2	19,9	17,1	9,6	29	34,2	35,9	36,2	42
K_2O	2,4	2,1	1,9	3,6	3,8	2,7	2,9	2,4
CaO	1,1	1,1	3	2,2	2,2	2,7	2,3	2,3
MnO	0,0	0,0	0,0	0,08	0,1	0,0	0,0	0,06
Fe_2O_3	2,7	0,0	3,7	3,5	3,8	3,5	0,8	0,8
CoO	0,9	0,7	1,1	1,2	1,2	1,1	0,3	0,24
NiO	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,04
CuO	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,15
SnO_2 K	8,3	7,1	8,3	15,8	11,1	10,1	2,1	2,1
SnO_2 L	15,9	13,5	16,6	13,2	25,7	16,5	**2,7**	**2,6**
PbO L	26,0	22,1	29	28,4	33,8	31,2	28,0	27,4

Tabla 4. Virgen de la Granada. Composiciones del vidriado azul (% en peso). En los puntos 16 y 34, se ha detectado arsénico.

azul	01	02	Bouquillon *et al.* 2004	Zucchiati *et al.* 2003; Bouquillon *et al.* 2002	Palermo ; Zucchiati *et al.* 2006
SiO2	17, 2	21,67	30 - 42	46	39,3
K2O	1,4	1,44		1 - 3	3,82
CaO	1,9	2,52		2 – 4	4,5
TiO2	0,07	0,07			0,04
MnO	0,00	0,04			
Fe2O3	0,67	0,77	0,9 – 2	1 – 3	2,47
CoO	0,36	0,36	0,8 – 1,2	0,7 – 0,9	0,83
NiO	0,05	0,06		0,2	0,2
CuO	0,07	0,07	0,3 – 0,8	0,2	0,76
ZnO	0,02	0,02			0,19
SnO2 K	2,7	2,87			
SnO2 L	**2,8**	**3,50**	12 – 26	11 – 14	12,3
PbO L	34	36,36	30 – 45	22 - 34	29,5

Tabla 5. Virgen del Cojín. Composiciones del vidriado azul (% en peso) y resumen de las concentraciones de los vidriados azules. Arsénico detectado en el punto 02.

Se han encontrado dos tipos de azules. El primer tipo incluye la mayoría de las medidas y las concentraciones en plomo y estaño (PbO 24 - 37% - SnO_2 13 - 26%) son compatibles con los valores promedio (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002 ; Bouquillon *et al.,* 2004) (tabla 5). Estos corresponden a puntos del fondo próximos a la Virgen (16 y 20; figura 1; tabla 4), a una parte del friso de los ángeles (11 y 12), a ciertos elementos de la sección alta (34) así como al jarrón del friso de la izquierda (31). Por el contrario, las medidas realizadas en los puntos (13 y 35) de la Virgen de la Granada, así como las de la Virgen del Cojín (1 y 2; figura 2; tabla 5), tienen concentraciones bajas en estaño (3% SnO_2) y que no se han encontrado en los estudios realizados en obras de los Della Robbia (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Bouquillon *et al.,* 2004), si bien sí han sido observados en los azules de las cerámicas florentinas del Renacimiento (Zucchiati *et al.,* 2006). En las dos obras, ciertos elementos accesorios probablemente no provienen del taller de los Della Robbia.

El fondo azul y la cabeza de la Virgen del Cojín (figura 2) forman parte, curiosamente, de los elementos que podrían no ser producidos por los Della Robbia. Esta obra existe en otras dos versiones en el Museo de Bargello de Florencia (Gentilini, 1992: 233 y 280) y en el Museo Nacional de Palermo (Gentilini, 1992: 174) que son atribuidos a Della Robbia. La composición química de la obra de Palermo (tabla 5) es compatible con las de Della Robbia, lo cual es compatible con que ciertos elementos de la obra de la Catedral de Sevilla hayan podido ser subcontratados.

La presencia de arsénico se ha detectado en las producciones renacentistas realizadas a partir de 1520 de los Della Robbia (Zucchiati *et al.,* 2003; Bouquillon *et al.,* 2002; Bouquillon *et al.,* 2004; Zucchiati *et al.,* 2006), así como en las del Maestro Giorgio en Gubbio (Padeletti *et al.,* 2006). Si bien los análisis por FRX portátil realizados no permiten detectar pequeñas concentraciones de As_2O_3 (menos de 1,5%), sí se ha detectado la probable presencia de As en los puntos 16 y 34 (tabla 4) y en el punto 02 (tabla 5), lo que sugiere por tanto, que estos elementos se fabricaron después de 1520. La «Madonna del Cuscino» de Florencia se habría fabricado hacia 1495-1500 (Gentilini, 1992), y la de Palermo no contiene As (tabla 5). Las dos obras de Sevilla serían por tanto posteriores a 1520.

Otros colores

Los resultados del análisis de los otros colores que sólo están presentes en la Virgen de la Granada se encuentran en la tabla 6. Se ha utilizado el método de "composición de la matriz" ya que el método de los "parámetros fundamentales" ha producido resultados poco satisfactorios. La variedad de colores implica la medida de varios elementos.

El color verde es producido por la presencia de cobre en concentraciones próximas al 6% (tabla 6). Este valor es similar a las encontradas en obras de Della Robbia (Bouquillon *et al.,* 2004), así como para otros elementos (SnO_2 4%; Fe_2O_3 1,5%; Sb_2O_5 2%; PbO 50%).

En los puntos amarillos (07, 23 y 25; tabla 6) las concentraciones encontradas (SnO_2 1%; Fe_2O_3 2%; Sb_2O_5 3%; PbO 55%) están de acuerdo con medidas anteriores y se deben a la presencia de antimoniato de plomo según Bouquillon *et al.,* 2004. El color amarillo claro (punto 22, figura 1) se debe a un elevado contenido en Sn (tabla 6). El color amarillo-verdusco de la granada (punto 25) es coherente con un contenido en CuO de 1% (tabla 6).

El negro es otro de los colores (punto 18 del ojo del Niño, figura 1) así como variantes que van del violeta al marrón y presentan contenidos en hierro y manganeso elevados (tabla 6). Las concentraciones medias en SnO_2 18%; Fe_2O_3 0,6%; MnO 3%; Sb_2O_5 0; PbO 30% (tabla 6) son próximas a las determinadas con anterioridad (Bouquillon *et al.,* 2004). El color marrón se distingue del violeta por presentar un déficit en Sn y Mn así como un exceso en Fe, Sb y Pb (Bouquillon *et al.,* 2004) que no se encuentra en el asiento de la Virgen (punto 32, tabla 6).

	03	**04**	**21**	**22**	**07**	**23**	**25**	**06**	**26**	**30**	**32**	**29**	**18**
Al2O3	1,3	1,6	14	1,1	3,2	5,7	2,2	3,2	5,6	5,3	2,2	1,3	3
SiO2	17	19	26	12	19	26	27	30	41	38,7	44	38	33
K2O	1,3	1,3	1	1,9	1,65	2	4,4	2	1,5	2	2,6	1,7	3,1
CaO	5,1	4,3	**6,5**	1,8	2,5	**14**	4,8	1,9	1,3	2	2	2,5	2,7
TiO2	0,1	0,07	0,2	0,1	0,05	0,15	0,09	0,03	0,04	0,01	0,04		0,02
MnO	0,06	0,05	0,14	0,06	0,09	0,12	0,09	**3,4**	**2,7**	**2,8**	**4,6**	0,3	**1,1**
Fe_2O_3	1,4	1,4	1,4	0,9	1,7	1,7	1,7	0,9	0,5	0,55	0,6	**3,3**	**5,7**
CoO	0,05	0,08	0,13	0,08	0,08	0,09	0,04	0,2	0,09	0,06	0,06	0,1	0,15
NiO	0,06	0,08	0,13	0,03	0,07	0,06	0,07	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05
CuO	**6,9**	**5,2**	**6,3**	0,4	0,2	0,4	**1**	0,4	0,14	0,1	0,1	0,2	0,1
ZnO	0,03	0,03	0,13	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
SnO_2 L	4,3	4	4,3	**7,2**	0,05	0,3	1,2	**17,8**	**18,3**	**18,7**	**18,7**	18	15
Sb_2O_5 K	1,2	1,2	6,4	2,3	3,5	5,2	3,1						0,3
Sb_2O_5 L	3	2	**0,5**	1,3	4,15	**0,9**	2,6						0,8
PbO L	54	54	46	53	60	53	54	**40,3**	**28,4**	**29,8**	**25,5**	35	34,9
	verde	verde	verde	amar claro	amar	amar	ama	uva	grana da	viol	viol	gris	negr

Tabla 6. Virgen de la Granada.Composiciones de los vidriados de color verde, amarillo, violeta y negro (% en peso).

V. CONCLUSIONES

El análisis por FRX portátil nos ha permitido determinar la composición química de las dos obras cerámicas de la Catedral de Sevilla y aunque presentan ciertas dificultades la conversión de los espectros en valores de concentraciones, el sistema portátil empleado se ha demostrado idóneo para este tipo de estudios.

Los vidriados corresponden en su composición química con la producción de los Della Robbia conocida a través de la bibliografía. Ha sido posible determinar variaciones en los vidriados blancos y azules en diversas partes de las obras; éstas pueden deberse tanto a la fabricación de piezas por diferentes talleres florentinos como a operaciones de restauración. Este es el caso de la operación de traslado y restauración de la Virgen de la Granada realizada en 1903 (Del Valle, 1992).

La fecha de fabricación (respecto a 1520) que se manifiesta por la presencia de arsénico en los vidriados azules, y que ha sido detectado en este estudio podría reconfirmarse gracias a la realización de nuevas medidas. La singularidad de la presencia de las obras de Della Robbia en Andalucía justifica profundizar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Francisco Navarro Ruiz, Teresa Laguna y Álvaro Jiménez por las facilidades prestadas para realizar las medidas en la Catedral de Sevilla. El proyecto fue parcialmente financiado por la Unión Europea (EU-ARTECH RII3-CT-2004-506171).

BIBLIOGRAFÍA

BOUQUILLON, A.; CASTAING, J.; VARTANIAN, E.; ZINK, A.; ZUCCHIATI, A. y GABORIT, J.R. 2002: “Etude des oeuvres robbiesques au centre de recherche et de restauration des musées de France”. En *Les Della Robbia*. Réunion des Musées Nationaux. Paris: 140-151.

BOUQUILLON, A.; ZUCCHIATI, A.; CASTAING, J. y GABORIT, J.R. 2004: “Les Della Robbia: matière et transfiguration”. *Techné,* 20: 13-18.

DEL VALLE GOMEZ de TERREROS GUARDIOLA, M.A. 1996: “Obras de Joaquim de la Concha Alcalde en la Catedral de Sevilla”. *Laboratorio de Arte* 9: 209-237.

GENTILINI, G. 1992: *I della Robbia.* Cantini Eds. Milano.

GIANONCELLI, A.; CASTAING, J.; BOUQUILLON, A.; POLVORINOS, A.; WALTER, P. 2006: “Quantitative elemental analysis of Della Robbia glazes with a portable XRF spectrometer and its comparison to PIXE methods”. *X Ray Spectrometry* 35: 365-369.

PADELETTI, G.; INGO, G.M.; BOUQUILLON, A.; PAGES CAMAGNA, S.; AUCOUTURIER, M.; ROEHRS, S. y FERMO P. 2006: “First-time observation of Mastro Giorgio masterpieces by means of non-destructive techniques”. *Applied Physics A* 83: 475-483.

PAPPALARDO, G.; COSTA, E.; MARCHETTA, C.; PAPPALARDO, L.; ROMANO, F.P.; ZUCCHIATI; PRATI, P.; MANDO, P.A.; MIGLIORI, A.; PALOMBRO, L. y VACCARI, M.G. 2004: “Non-destructive characterization of Della Robbia sculptures at the Bargello Museum in Florence by the combined use of PIXE and XRF portable systems”. *J. Cultural Heritage* 5: 183-188.

SOLE, V.A.; PAPILLON, E.; COTTE, M.; WALTER, P. y SUSINI, J. 2005: “A multiplatform code for the analysis of energy-dispersive X-ray fluorescence spectra”. *Spectrochimica Acta* Part B, 62: 63-68.

ZINK, A.; CASTAING, J. y PORTO E. 2004: “Terres cuites de la Renaissance et datation par luminescence - Défi et réalité”». *Techné* 20: 111-117.

ZUCCHIATI, A.; BOUQUILLON, A.; CASTAING, J. y GABORIT J.R. 2003: “Elemental analyses of a group of glazed terracotta angels from the Italian Renaissance, as a tool for the reconstruction of a complex conservation history”. *Archaeometry* 45: 391-404.

ZUCCHIATI, A; BOUQUILLON, A; KATONA I. y D’ALESSANDRO A. 2006: “The Della Robbia blue: a case study for the use of cobalt pigments in ceramics during the Italian Renaissance”. *Archaeometry* 48: 131-152.

ANÁLISIS DE VIDRIOS ROMANOS DEL YACIMIENTO DE LA DEHESA DE LA OLIVA (PATONES, MADRID)

ANALYSIS OF ROMAN GLASSES FROM THE DEHESA DE LA OLIVA SITE (PATONES, MADRID)

N. CARMONA[1,2], M.A. VILLEGAS[1,2], M.A. CASTELLANOS[3], I. MONTERO[1], M. GARCÍA-HERAS[1,2]

(1) Instituto de Historia (IH-CSIC). Centro de Ciencias Humanas y Sociales. C/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid.
(2) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC). Avda. Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid.
(3) Museo Arqueológico Nacional. C/ Serrano, 13. 28001 Madrid.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en el estudio arqueométrico de un conjunto de vidrios romanos hallados en las distintas campañas de excavación arqueológica realizadas en el yacimiento de La Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid). Los objetivos se centraron en determinar la composición química de los vidrios pertenecientes a las dos fases principales de ocupación y comprobar si existían diferencias entre ellos, así como evaluar su estado de conservación. También se caracterizaron sus coloraciones mediante el análisis de sus cromóforos. El estudio se realizó con las siguientes técnicas: microscopía óptica, fluorescencia de rayos X (FRX), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (MEBEC), microanálisis de dispersión de energía de rayos X (EDX) y espectrofotometría ultravioleta-visible (UV-VIS). Los datos obtenidos indicaron que todos los vidrios analizados eran de silicato sódico-cálcico, con composiciones químicas muy semejantes. Las coloraciones se atribuyeron a iones hierro aportados como impurezas de las materias primas. Finalmente, los vidrios mostraron un estado de alteración medio con presencia de picaduras, irisaciones y desalcalinización superficial.

ABSTRACT

This work reports the results derived from a characterisation study undertaken on a sample set of Roman glasses found in some archaeological fieldworks carried out in La Dehesa de la Oliva site (Patones, Madrid). The objectives of the research were to determine the chemical composition of glasses from the two main phases of occupation to check possible differences between them, as well as to evaluate their state of conservation. Glass colours were also characterised by the analysis of their chromophores. The study was accomplished using the following techniques: optical microscopy, X-ray fluorescence (XRF), field emission scanning electron microscopy (FESEM), energy dispersive X-ray microanalysis (EDX), and UV-VIS spectrophotometry. Resulting data indicated that all the samples were soda-lime silicate glasses with very similar chemical compositions. Colours were attributed to iron ions from impurities of raw materials. Finally, the glasses showed a medium alteration state with the presence of pits, iridescent layers and superficial dealkalinisation.

Palabras clave: Vidrio romano, Península Ibérica, Meseta, Arqueometría, Composición química, Color, Tecnología, Dehesa de la Oliva, XRF, EDX, FESEM, UV-VIS.

Key words: *Roman glass, Iberian Peninsula, Central Meseta, Archaeometry, Chemical composition, Glass colour, Technology, Dehesa de la Oliva, XRF, EDX, FESEM, UV-VIS.*

1. INTRODUCCION

Todavía en la actualidad son escasos los estudios arqueométricos sobre vidrios históricos que incluyan, tanto su análisis químico como la caracterización del estado de conservación que presentan, el cual es consecuencia directa de su interacción con el entorno (Carmona *et al.,* 2006). Los estudios de este tipo en vidrios de procedencia arqueológica son, si cabe, aún más escasos debido a que en gran medida la fragilidad y moderada resistencia química del vidrio provocan que el material rescatado se encuentre muy fragmentado y severamente degradado (Carmona *et al.,* en prensa). En general, la mayoría de los estudios realizados sobre vidrio romano de la Península Ibérica son de carácter crono-tipológico (p.ej., Sánchez de Prado, 1984; Fuentes *et al.,* 2001). No obstante, a lo largo de los últimos años se han emprendido algunos trabajos arqueométricos como los realizados por Rincón (1984) en vidrios de Mérida y Segóbriga, los efectuados por Domínguez-Bella y Jurado-Fresnadillo (2004) en vidrios altoimperiales de la Casa del Obispo en Cádiz, los llevados a cabo por Gómez-Tubío *et al.* (2006) en materiales tardíos del yacimiento de La Encarnación en Sevilla o el reciente análisis de un conjunto de vidrios procedentes de La Alcudia en Elche (García-Heras *et al.,* en prensa).

En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización arqueométrica de un conjunto de vidrios romanos hallados en las excavaciones arqueológicas del yacimiento de La Dehesa de la Oliva. Este yacimiento se encuentra situado en el término municipal de Patones (Madrid) y se asienta en un cerro elevado sobre la vega en la que confluyen los ríos Lozoya y Jarama, justo en el límite entre las provincias de Madrid y Guadalajara (Fig. 1). El asentamiento ocupa una gran extensión de terreno (entre 25 y 30 hectáreas), lo que hace suponer que se trataba de una ciudad de notables dimensiones. La información disponible sobre esta ciudad romana se encuentra dispersa en diversas publicaciones que informan sobre las campañas de excavación, hallazgos y estudios que se han llevado a cabo con anterioridad (Cuadrado, 1991; Muñoz Carballo, 1994; Montero Ruiz y Sejas del Piñal, 2003-04). La realización de distintas campañas de excavación ha permitido confirmar el inicio del urbanismo en el siglo II a.C., determinar una fase de remodelación urbana acaecida a fines del siglo III d.C. y el hallazgo de materiales tardorromanos que pueden situarse en los siglos IV y V d.C. Asimismo, la excavación de unas sepulturas en 2006 sirvió para confirmar la presencia visigoda en el yacimiento.

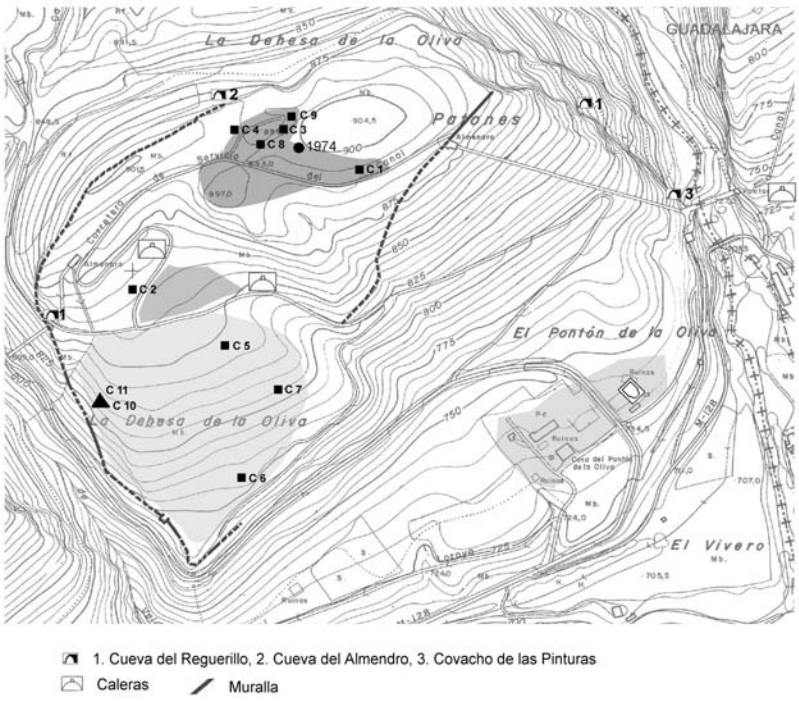


Figura 1. Situación geográfica del yacimiento de La Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid).

Para la realización de este estudio se ha contado con fragmentos de vidrio procedentes de las campañas efectuadas en 1956, 1990 y 2005. En general, la mayor parte de los fragmentos son vidrios soplados a molde de pequeñas dimensiones y paredes muy finas. Entre las formas que se han podido reconstruir destacan botellas, cuencos de paredes rectas y alguna tapadera (Fig. 2). Predominan los vidrios transparentes de colores verdosos, sobre todo verde oliva, aunque también hay fragmentos de color levemente azulado. En cuanto a la cronología, sólo unos pocos fragmentos proceden de contextos asignables a las dos grandes fases de ocupación del yacimiento: un primer momento fechado entre los siglos I a.C.-I d.C. y un segundo cuya cronología se sitúa entre los siglos IV-V d.C. El resto de fragmentos de vidrio procede de niveles revueltos y de estructuras de acumulación como aljibes, en los que resulta difícil precisar su cronología.

Los objetivos de esta investigación se centraron en determinar la composición química de los vidrios pertenecientes a las dos fases principales de ocupación del yacimiento, para comprobar si existían diferencias entre ellos. También se estudió su estado actual de conservación mediante el diagnóstico de los posibles procesos de degradación ocurridos durante el enterramiento y se caracterizaron sus coloraciones a través del análisis de los cromóforos. Los resultados han permitido obtener una información muy valiosa para el avance del conocimiento de la tecnología de producción de los vidrios romanos de la Meseta, en los que todavía no se había iniciado su estudio sistemático con técnicas de caracterización arqueométrica.

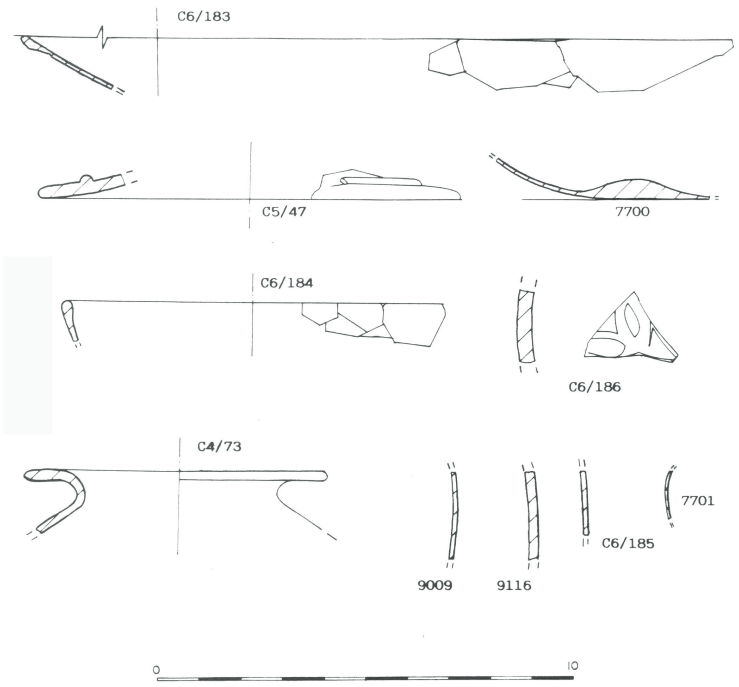


Figura 2. Dibujos de algunas de las piezas de vidrio.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materiales estudiados

Se seleccionaron 12 fragmentos de vidrio de aquellos conjuntos que presentaron mayor homogeneidad. En todos los casos se trataba de vidrios transparentes con distintas tonalidades verdosas en masa, que iban desde el verde oliva claro al verde azulado. Se escogieron, preferentemente, aquellos fragmentos de pequeño tamaño y sin forma reconocible. El grado de deterioro de los vidrios seleccionados era bastante variable. Así, mientras que algunos apenas mostraban deterioro, otros presentaban cráteres aislados o interconectados, con irisaciones y costras de corrosión adheridas o parcialmente desprendidas. De los

12 fragmentos, siete provienen de niveles revueltos y estructuras de acumulación de la campaña de 1956 (muestras R1-1 a R1-7); cuatro del momento de ocupación fechado entre los siglos IV-V d.C. de la campaña de 1990 (muestras R2-1 a R2-4); y uno de la fase más antigua de los siglos I a.C.-I d.C. procedente de las excavaciones de 2005 (muestra R3-1).

2.2. Técnicas de análisis

La caracterización quimicofísica de las muestras se realizó mediante las siguientes técnicas complementarias: microscopía óptica convencional (MO), fluorescencia de rayos X (FRX), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (MEBEC), microanálisis de dispersión de energía de rayos X (EDX) y espectroscopía de absorción ultravioleta-visible (UV/VIS).

La observación detallada de los vidrios, tal como se recibieron en el laboratorio, se realizó mediante MO con un microscopio de luz reflejada Olympus modelo DP-11. La composición química del interior de los vidrios se determinó de manera semicuantitativa mediante FRX. Para ello se empleó un espectrómetro Philips modelo PW-1404 de dispersión de longitudes de onda con tubo de rodio. El procedimiento de medida consistió en la molienda en mortero de ágata de 1 g aproximadamente de cada muestra de vidrio, una vez eliminadas las capas de corrosión y los depósitos superficiales mediante pulido manual para evitar contaminaciones. Posteriormente, el polvo de vidrio se prensó en pastillas de ácido bórico, utilizando una mezcla de n-butilmetacrilato y acetona (10:90% en peso) como aglomerante. Las determinaciones analíticas se obtuvieron con el programa Uniquant 4.22 basado en parámetros fundamentales. El análisis químico mediante FRX sólo se llevó a cabo en ocho de las muestras debido al pequeño tamaño y peso del resto de los fragmentos de vidrio. La caracterización microestructural de ambas superficies (interna y externa) se llevó a cabo mediante MEBEC con las superficies recubiertas con carbono como medio conductor. El equipo utilizado fue un microscopio Jeol modelo JSM 6500F. En algunas de las zonas observadas se realizaron microanálisis de EDX con un espectrómetro Pentafet Link con detector de silicio (litio), acoplado al microscopio mencionado. En ambos casos se empleó una tensión de aceleración de 15 kV. Las concentraciones elementales de EDX se obtuvieron utilizando el método de corrección ZAF. Los óxidos se calcularon estequiométricamente. Por último, la identificación de los cromóforos o iones responsables de la coloración de los vidrios se realizó mediante espectrofotometría UV/VIS utilizando un espectrofotómetro Shimadzu modelo 3100 provisto de esfera integradora.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Composición química de los vidrios

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos mediante FRX de los vidrios analizados. Como se puede observar, todos ellos son vidrios de silicato sódico-cálcico, con composiciones muy semejantes y un intervalo de variación muy reducido.

Muestra	Color	Cronología	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_2	Cl^-	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	BaO
R1-1	Vo	n.d.	17,26	1,12	2,96	66,91	0,02	0,18	1,02	0,37	6,05	0,55	1,50	2,00	0,02	0,04
R1-2	Vo	n.d.	18,95	0,98	2,39	65,89	0,02	0,24	1,07	0,41	6,41	0,37	1,84	1,37	0,02	0,04
R1-3	Vo	n.d.	19,77	0,90	2,78	65,66	0,02	0,26	1,03	0,29	5,08	0,43	1,96	1,78	0,01	0,03
R1-5	Vo	n.d.	19,43	1,03	2,71	64,92	0,02	0,25	1,08	0,43	6,41	0,32	1,86	1,42	0,02	0,10
R2-1	Iv	IV-V d.C.	17,96	1,14	2,69	65,86	0,08	0,29	0,77	1,05	7,89	0,15	0,77	1,32	0,01	0,02
R2-2	Voa	IV-V d.C.	18,63	1,38	2,70	63,15	0,12	0,36	0,84	0,92	7,49	0,15	1,36	2,87	0,02	0,01
R2-4	Vo	IV-V d.C.	19,00	1,25	2,92	64,66	0,02	0,20	0,99	0,33	6,24	0,49	1,93	1,94	0,01	0,02
R3-1	Voa	I a.C.-I d.C.	22,51	0,90	2,66	61,32	0,02	0,36	1,26	0,34	5,54	0,53	2,00	2,44	0,02	0,10

Vo Verde oliva
Voa Verde oliva amarillento
Iv Incoloro verdoso
n.d. no determinada

Tabla 1. Composición química de los vidrios analizados en masa mediante FRX (% en peso).

Al representar los resultados de las composiciones químicas en un diagrama ternario (Fig. 3), se observa que la mayoría de los puntos se encuentran bastante concentrados y tan sólo el punto correspondiente al vidrio R3-1 se separa del conjunto. Este vidrio tiene un contenido ligeramente superior de óxido de sodio (22,51% en peso) y algo inferior de óxido de silicio (61,32% en peso) que el resto de los vidrios analizados. Es, por lo tanto, el vidrio que presenta mayor contenido de óxidos fundentes (Na_2O y K_2O), cuya incorporación disminuye la viscosidad y ayuda a la homogeneización de la masa fundida de vidrio durante su fabricación, reduciendo la temperatura de fusión. Por otro lado, el menor contenido de óxido de silicio, añadido como formador de la red vítrea o vitrificante, también contribuye a la reducción de la temperatura de fusión. Estos datos podrían indicar que el vidrio de contexto más antiguo se habría fundido a una temperatura ligeramente inferior que la alcanzada para fundir el resto de los vidrios.

Los vidrios de cronología incierta y los de fecha más reciente (s. IV-V d.C.) presentan, como óxidos mayoritarios, contenidos de óxido de sodio entre el 17,26 y 19,77% en peso, de óxido de calcio entre el 5,08 y el 7,89% en peso y de óxido de silicio entre el 63,15 y 66,91% en peso. Otros óxidos minoritarios, como los de aluminio, hierro y titanio, se hallan en concentraciones inferiores al 3% en peso en todos los casos. Estas bajas concentraciones podrían indicar que se empleó una arena relativamente rica en sílice como materia prima aportadora del SiO_2, ya que si se hubiera empleado una arena con más impurezas y presencia de feldespatos o piroxenos, los contenidos de estos óxidos serían superiores (Aerts *et al.,* 2003; Silvestri *et al.,* 2006). Asimismo, los bajos contenidos de óxido de potasio (inferiores al 1% en peso) y de óxido de magnesio (~1% en peso) determinados constituyen una clara evidencia de que se elaboraron utilizando *natrón* como aportador del óxido de sodio. Este mineral suele contener además cloruros y sulfatos como impurezas, lo cual se corrobora por la presencia de cloro y SO_2 (Tite *et al.,* 2006). En todos los análisis aparecen también concentraciones de óxido de manganeso entre 0,77 y 2,00% en peso. Este óxido ha sido utilizado de manera intencionada desde la antigüedad para compensar la tonalidad verdosa-azulada que imparten los iones hierro al vidrio. El trióxido de manganeso (Mn_2O_3), también conocido a partir de la Edad Media como "jabón de vidriero", imparte una tonalidad violeta a los vidrios que compensa la proporcionada por los iones de hierro. De esta forma se elimina la tonalidad residual de estos últimos aunque, al mismo tiempo, se resta transparencia a la masa vítrea (Fernández Navarro, 2003). Ésta era una práctica habitual en la producción de vidrio romano incoloro (Sayre, 1963; Jackson, 2005).

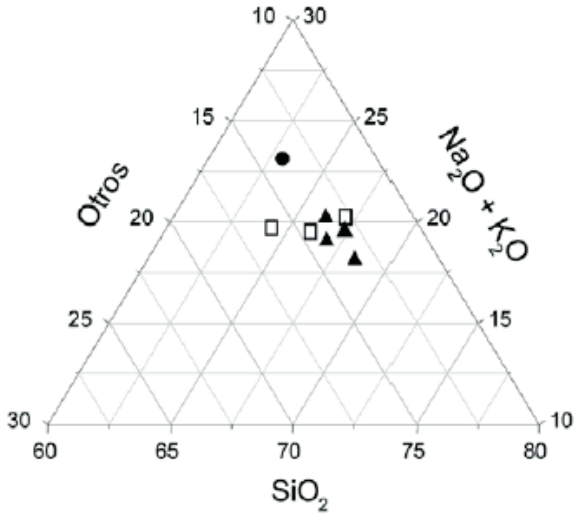


Figura 3. Diagrama ternario que representa la composición química de los vidrios estudiados. Otros corresponde a: MgO + CaO + Al_2O_3 + MnO + Fe_2O_3 (% en peso). (▲vidrios de cronología incierta, □vidrios de los siglos IV-V d.C., ●vidrio entre los siglos I a.C. y I d.C.).

A la vista de los resultados, no se han identificado diferencias importantes en la composición química de las distintas muestras de los dos momentos de ocupación. Parece posible, sin embargo, determinar dos tipos de composición ligeramente diferentes que podrían llegar a confirmarse en un futuro a través del análisis de nuevas muestras del yacimiento.

3.2. Grado de deterioro

Es frecuente detectar distintos grados y mecanismos de deterioro en piezas de vidrio romano. No obstante, éstos deben distinguirse de los defectos de fabricación como son la aparición de cuerdas o hilos y burbujas de diversas formas y tamaños. En las muestras objeto de estudio se han encontrado algunas cuerdas finas, bullones y burbujas de pequeño tamaño (Fig. 4), lo que puede indicar que no se alcanzó una temperatura de fusión adecuada que hubiera permitido un mejor afinado del vidrio.

En cuanto al grado de deterioro, el ataque químico de los vidrios comienza en pequeños puntos donde existen irregularidades o defectos en la superficie. Se hace visible mediante pequeñas picaduras aisladas distribuidas sobre la superficie de la pieza, las cuales en un estadio más avanzado se unen o interconectan y aumentan de tamaño formando cráteres. En este momento se produce el deterioro de la red tridimensional de vidrio, lo cual hace que se formen y más tarde se desprendan capas de gel de sílice superponiéndose unas a otras originando una estructura laminar. La interacción de estas capas de gel de sílice con el medio exterior que rodea al vidrio da lugar a costras compuestas por productos de corrosión (Carmona *et al.,* 2005).

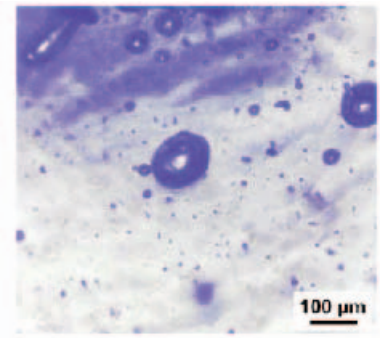


Figura 4. Imagen de MO de la muestra R1-3. Superficie externa con burbujas.

Aunque en general las muestras estudiadas presentaron un estado de conservación bastante aceptable, se detectaron los siguientes procesos de alteración y deterioro: i) superficies con picaduras interconectadas a lo largo de líneas preferentes (Fig. 5A); ii) irisaciones o colores de interferencia (Fig. 5B); y iii) costras de corrosión con un espesor inferior a 1 mm (Fig. 5C).

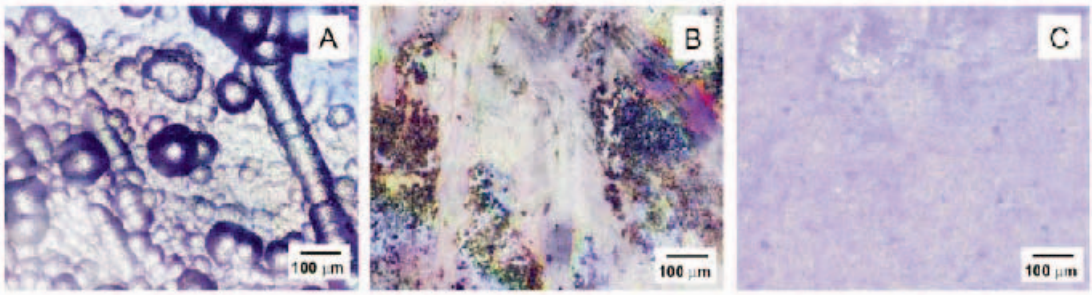


Figura 5. Imágenes de MO. A) Picaduras interconectadas. Superficie exterior. Muestra R2-3. B) Capas de gel de sílice que producen irisaciones. Superficie exterior. Muestra R3-1. C) Costra de corrosión. Superficie interior. Muestra R1-7.

El análisis microestructural de los vidrios mediante MEBEC permitió la caracterización de las superficies. Entre los vidrios que presentaron superficies irisadas se encuentra la muestra R3-1 (Fig. 6A). Al examinar con mayor detalle, tanto la superficie interior como la exterior (Fig. 6B-C), se observó que las irisaciones estaban compuestas por capas o láminas superpuestas, algunas de ellas parcialmente desprendidas. El análisis químico de EDX efectuado en el área correspondiente a la imagen de la Fig. 6C (Tab. 2), indicó que estas zonas han sufrido un empobrecimiento relativo de óxido de sodio con respecto al análisis químico del interior del vidrio realizado mediante FRX (Tab. 1). Esto indica que se ha producido una desalcalinización superficial y que al mismo tiempo la superficie se ha enriquecido proporcionalmente en óxidos de silicio, manganeso, aluminio y hierro (Tabs. 1 y 2). El aumento del contenido de estos tres últimos óxidos también podría deberse a aportaciones del entorno en el que estuvo enterrado el vidrio.

En la muestra R1-7 (Fig. 7A) se identificaron picaduras interconectadas de profundidad media y la presencia en algunas zonas de una fina costra de corrosión (Fig. 7B). En otras zonas se detectó una costra compacta de aspecto homogéneo (Fig. 7C). El análisis de EDX indicó que esta costra estaba compuesta por óxidos de silicio, calcio, aluminio, hierro y manganeso como componentes mayoritarios (Tab. 2). Cabe destacar la presencia de un contenido muy bajo de óxido de sodio (1,2% en peso) que, con toda probabilidad, se ha lixiviado de la superficie del vidrio debido al ataque químico sufrido. Por otro lado, el porcentaje relativamente alto de SO_2 determinado en la superficie puede deberse a una contaminación producida por el entorno en el que permaneció enterrada la muestra.

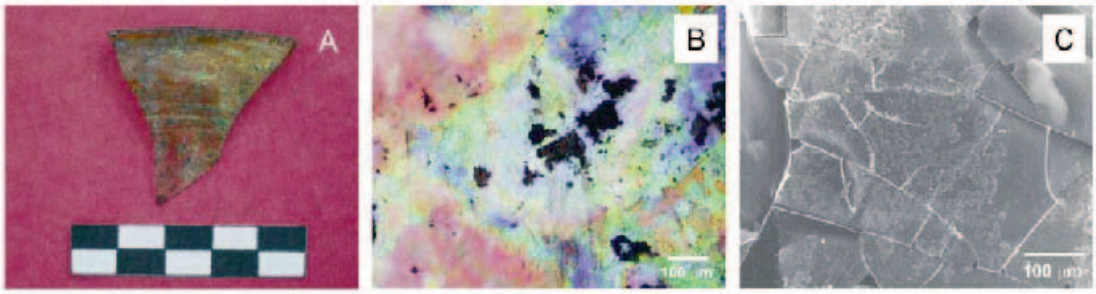


Figura 6. Superficie interior. Muestra R3-1. A) Vidrio tal como se recibió en el laboratorio. B) Imagen de MO. C) Micrografía de MEBEC.

Muestra	Zona de análisis	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3
R3-1	Fig. 6C	3,9	1,0	8,1	68,7	-	1,3	5,7	4,9	6,4
R1-7	Fig. 7C	1,2	1,7	17,5	39,5	2,0	2,2	17,8	8,0	10,1
R2-2	Fig. 8C, zona 1	1,8	2,9	18,7	49,3	2,0	3,5	15,0	0,6	6,2
R2-2	Fig. 8C, zona 2	11,6	1,3	3,7	69,2	-	1,3	7,7	1,3	3,9

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos obtenidos por EDX (% en peso).

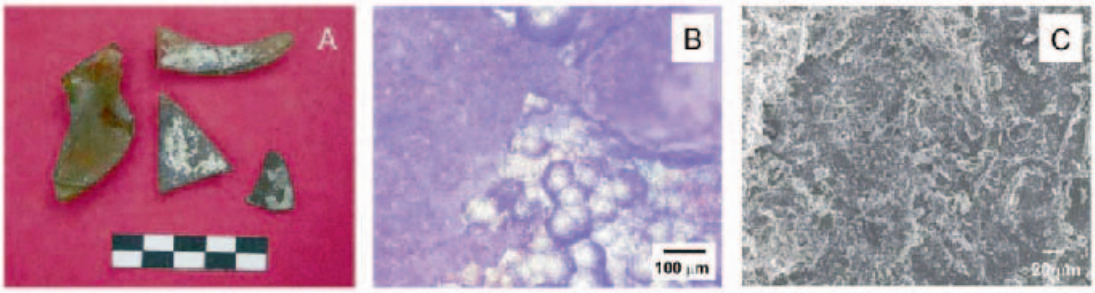


Figura 7. Superficie exterior. Muestra R1-7. A) Vidrio tal como se recibió en el laboratorio. B) Imagen de MO. C) Micrografía de MEBEC.

La muestra R2-2 (Fig. 8A) presentó zonas cubiertas por una costra de corrosión (Fig. 8B) y zonas donde la superficie del vidrio estaba descubierta (Fig. 8C). El análisis químico efectuado en una zona de la costra (Fig. 8C, zona 1; Tab. 2) mostró, en comparación con la superficie del vidrio, un enriquecimiento relativo de óxidos de calcio, aluminio y hierro, mientras que los contenidos de óxidos de silicio y sodio se reducen en gran medida. Por el contrario, en la superficie del vidrio (Fig. 8C, zona 2; Tab. 2) las determinaciones de EDX indicaron un aumento importante del óxido de sodio (de 1,8 a 11,6% en peso), aunque su concentración sigue siendo baja si se compara con la obtenida en el interior del vidrio (18,6% en peso, Tab. 1). En esta muestra se identificó, por tanto, una intensa desalcalinización superficial en aquellas zonas en las que el vidrio estaba más descubierto, así como la formación de una capa de gel de sílice. En la costra apenas se detectó óxido de sodio, debido a la elevada solubilidad de las sales formadas con los iones sodio extraídos. Sin embargo, el enriquecimiento relativo de óxidos de calcio, aluminio y hierro no sólo indica que pueden ser productos de la corrosión del vidrio, sino que podrían ser también aportaciones procedentes del entorno de enterramiento de la muestra.

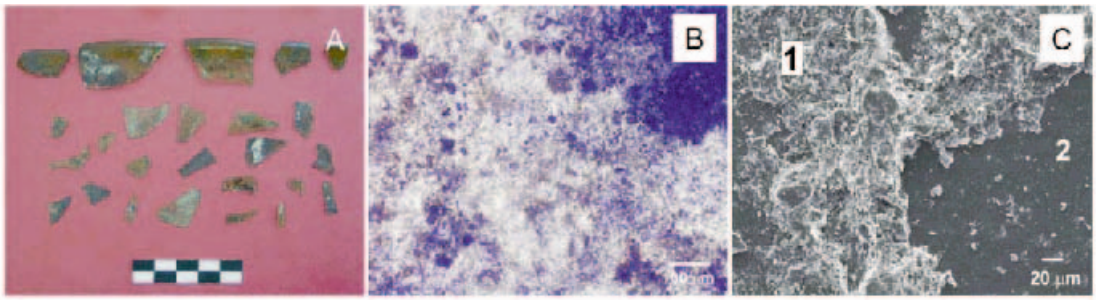


Figura 8. Superficie exterior. Muestra R2-2. A) Vidrio tal como se recibió en el laboratorio. B) Imagen de MO. C) Micrografía de MEBEC.

3.3. Cromóforos y color de los vidrios

Todos los vidrios objeto de este estudio eran transparentes con distintas tonalidades verdosas en masa, que iban desde el verde oliva claro al verde azulado. Los espectros de absorción óptica UV/VIS registrados entre 300 y 800 nm (Fig. 9), no mostraron la presencia de los típicos cromóforos que imparten tonalidades verdosas (cromo) o azuladas (cobalto, cobre) a los vidrios. Tan sólo se apreciaron los picos característicos de los iones hierro Fe^{3+}/Fe^{2+} (marcados con líneas verticales discontinuas en la Fig. 9). Los iones Fe^{3+}, que colorean el vidrio de amarillo, presentan tres picos o máximos de absorción a 380, 420 y 440 nm, respectivamente. Los iones Fe^{2+}, en cambio, colorean el vidrio de azul con una intensidad de color mayor, y presentan un pico de absorción a 440 nm y una banda ancha en el infrarrojo (IR) a 1100 nm (Fernández Navarro, 2003). La coexistencia de ambos iones y las distintas condiciones de oxidación-reducción en el horno de fusión del vidrio son, con toda probabilidad, los responsables de las distintas tonalidades de verde que se observan, desde el verde oliva hasta la tonalidad levemente azulada. En cualquier caso, resulta difícil concluir si la adición del cromóforo hierro fue o no intencionada. Los contenidos de óxido de hierro obtenidos por FRX (entre 1,32 y 2,87% en peso, Tab. 1), son bastante similares a los determinados en vidrios romanos tardíos de La Alcudia (Elche) (García-Heras *et al.,* en prensa) y algo más elevados si se comparan con los vidrios de La Encarnación (Sevilla), también de cronología tardorromana (Gómez-Tubío *et al.,* 2006). No obstante, resultan mucho más elevados que los que suelen mostrar vidrios romanos más antiguos de cronología altoimperial (Rincón, 1984; Domínguez-Bella y Jurado-Fresnadillo, 2004), lo que parece demostrar que el cromóforo hierro formaría parte de las impurezas de la propia arena utilizada como materia prima, ya que en momentos tardíos los vidrieros romanos utilizaron arenas con un menor grado de pureza (Aerts *et al.,* 2003).

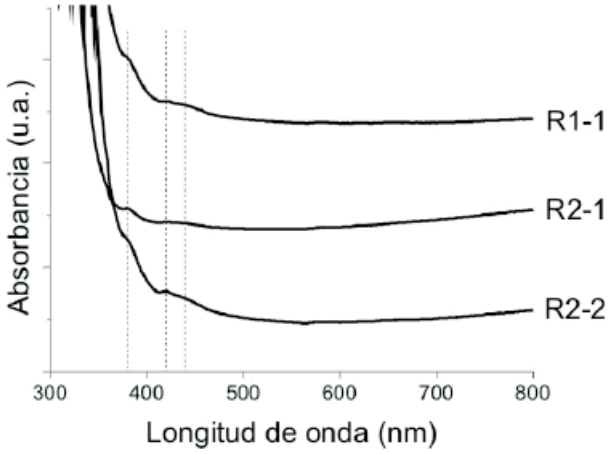


Figura 9. Espectros de absorción visible de tres de los vidrios analizados. Las líneas verticales discontinuas indican los máximos de las bandas características de los iones hierro Fe^{3+}/Fe^{2+}.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo, mediante técnicas de caracterización quimicofísica, el estudio arqueométrico de un conjunto representativo de vidrios romanos procedentes del yacimiento de La Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid). Los resultados indicaron que se trataba de un conjunto muy homogéneo en cuanto a composición química, grado de deterioro y coloración se refiere.

Todos los vidrios analizados eran de silicato sódico-cálcico y fueron elaborados con formulaciones muy ajustadas, según sugiere su homogeneidad química. No se apreciaron diferencias compositivas entre los vidrios sin una cronología precisa provenientes de niveles de revuelto de la campaña de 1956 y los vidrios fechados en los s. IV-V d.C. de las excavaciones de 1990. Sin embargo, el único vidrio analizado del contexto más antiguo (s. I a.C.-I d.C.) de la campaña de 2005, mostró una composición ligeramente distinta, aun tratándose también de un vidrio de silicato sódico-cálcico, caracterizada por la presencia de un mayor contenido de óxido de sodio y menor de óxido de silicio. Esto podría indicar una posible diferenciación de los vidrios más antiguos, desde el punto de vista de la composición química, que deberá confirmarse en el futuro con el análisis de nuevas muestras del contexto más antiguo del yacimiento. La escasez de trabajos arqueométricos sobre vidrio romano con los que poder comparar los resultados aquí obtenidos hace que, por el momento, no sea concluyente establecer una posible procedencia para los materiales analizados. Las coloraciones se atribuyeron a iones hierro Fe^{3+}/Fe^{2+} aportados, probablemente, por las impurezas de las arenas utilizadas como materia prima.

Finalmente, aunque los vidrios estudiados presentaron un estado de conservación bastante aceptable, se detectaron distintos procesos de degradación como picaduras interconectadas, irisaciones y colores de interferencia, desalcalinización superficial y presencia de costras de corrosión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del Proyecto PIE-CSIC 2006 1 OI 031. N. Carmona agradece a CSIC-FSE la concesión de un contrato postdoctoral I3P. Los autores agradecen el apoyo institucional de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural. Los materiales de las campañas realizadas por Emeterio Cuadrado nos fueron entregados por su hijo Manuel Cuadrado y el fragmento de la campaña de 2005 por Juan Gómez, director de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

AERTS, A.; VELDE, B.; JANSSENS, K. y DIJKMAN, W. 2003: “Change in silica sources in Roman and post-Roman glass”. *Spectrochimica Acta* Part B 58: 659-667.

CARMONA, N.; OUJJA, M.; REBOLLAR, E.; RÖMICH, H. y CASTILLEJO, M. 2005: “Analysis of corroded glasses by Laser Induced Breakdown Spectroscopy”. *Spectrochimica Acta,* Part B: Atomic Spectroscopy 60 (7-8): 1155-1162.

CARMONA, N.; VILLEGAS, M.A. y FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M. 2006: “Characterisation of an intermediate decay phenomenon of historical glasses”. *Journal of Materials Science* 41: 2339-2346.

CARMONA, N.; VILLEGAS, M.A.; JIMÉNEZ, P.; NAVARRO, J. y GARCÍA-HERAS, M. (En prensa): “Caracterización arqueométrica de vidrios andalusíes procedentes de talleres murcianos”. *Actas de las Jornadas sobre Vidrio de la Alta Edad Media y Andalusí 2006.* Fundación Centro Nacional del Vidrio. La Granja de San Ildefonso.

CUADRADO, E. 1991: “El castro de la Dehesa de la Oliva”. *Arqueología, Paleontología y Etnografía* 2: 189-255.

DOMÍNGUEZ-BELLA, S. y JURADO-FRESNADILLO, G. 2004: “Análisis arqueométrico de los vidrios romanos de la Casa del Obispo (Cádiz)”. En M.J. Feliú et al. (eds.): *Avances en Arqueometría* 2003. Universidad de Cádiz. Cádiz: 129-137.

FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M. 2003: *El vidrio. Constitución, fabricación, propiedades.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid (3ª edición).

FUENTES, A.; PAZ PERALTA, J.A. y ORTÍZ PALOMAR, E. (eds.) 2001: *Vidrio romano en España. La revolución del vidrio soplado.* Fundación Centro Nacional del Vidrio. La Granja de San Ildefonso.

GARCÍA-HERAS, M.; SÁNCHEZ DE PRADO, M.D.; CARMONA, N.; TENDERO, M.; RONDA, A.M. y VILLEGAS, M.A. (En prensa): “Analytical study of Roman glasses from Southeastern Spain”. *Archaeologia Polona.*

GÓMEZ-TUBÍO, B.; ONTALBA SALAMANCA, M.A.; ORTEGA-FELIÚ, I.; RESPALDIZA, M.A.; AMORES CARREDANO, F. y GONZÁLEZ-ACUÑA, D. 2006: “PIXE-PIGE analysis of late Roman glass fragments”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* B 249 (1-2): 616- 621.

JACKSON, C.M. 2005: “Making colourless glass in the Roman period”. Archaeometry 47 (4): 763-780.

MONTERO RUIZ, I. y SEJAS DEL PIÑAL, G. 2003-2004: "Metales de la Dehesa de la Oliva (Patones)". *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 43: 171-179.

MUÑOZ CARBALLO, G. 1994: “Excavación en el castro de la Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid)”. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 34: 39-52.

RINCÓN, J.M. 1984: “Análisis y microestructura de vidrios romanos de Mérida y Segóbriga”. *Revista de Arqueología* 43: 34-39.

SÁNCHEZ DE PRADO, M.D. 1984: “El vidrio romano en la provincia de Alicante”. Lucentum 3: 79-100.

SAYRE, E.V. 1963: “The intentional use of antimony and manganese in ancient glasses". En F.R. Matson y G.E. Rindone (eds.): *Advances in Glass Technology, part 2.* Plenum Press, New York: 263-282.

SILVESTRI, A.; MOLIN, G. y SALVIULO, G. 2006: “Sand for Roman glass production: an experimental and philological study on source of supply”. *Archaeometry* 48 (3): 415-432.

TITE, M.S.; SHORTLAND, A.; MANIATIS, Y.; KAVAUSSANAKI, D. y HARRIS, S.A. 2006: “The composition of the soda-rich and mixed alkali plant ashes used in the production of glass”. *Journal of Archaeological Science* 33 (9): 1284-1292.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ARTEFACTOS MACROLÍTICOS: UNA BASE METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS FUNCIONAL

THE MECHANICAL PROPERTIES OF MACROLITHIC ARTEFACTS: A METHODOLOGICAL BACKGROUND FOR FUNCTIONAL ANALYSIS

SELINA DELGADO RAACK[1], DAVID GÓMEZ GRAS[2], ROBERTO RISCH[1]

(1) Departament de Prehistòria, Edifici B. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.
(2) Departament de Geologia, Edifici Cs. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

RESUMEN

El amplio abanico de rocas empleadas en la producción de artefactos macrolíticos durante la Prehistoria Reciente del Mediterráneo occidental, responde a una actitud selectiva en la que influyeron tanto factores naturales, como técnicos y sociales. En algunos casos concretos como, por ejemplo, el de los artefactos de molienda, coexisten rocas de cualidades petrográficas muy diferentes. La manera en que estas propiedades influyen en las diversas formas de contacto material por fricción, constituye un aspecto poco atendido en los estudios de tecnología prehistórica. El análisis de comportamiento material, tal y como se define desde la ciencia de los materiales, nos brinda una herramienta para *traducir* las características petrográficas de las rocas en propiedades mecánicas. Para ello, hemos sometido diferentes litotipos a diversas formas de contacto en máquinas de ensayo industrial, las cuales permiten cuantificar el desgaste material mediante medidas sensibles a la pérdida de volumen y al desarrollo de rugosidad. Sobre esta base analítica podemos evaluar en qué grado las propiedades mecánicas de las rocas se adecuan a las funciones para las cuales fueron seleccionadas por las sociedades prehistóricas. Finalmente el conocimiento sobre las cualidades mecánicas de las materias primas junto con las formas de explotación, distribución y empleo de las mismas permitirá dotar de significado social y económico a los sistemas de producción en torno al instrumental macrolítico.

ABSTRACT

Natural, technical and social factors led to the use of a wide range of rocks for the production of macrolithic artefacts during the later prehistory in the Western Mediterranean. In the case of some artefact types, such as the grinding stones, rocks with very different petrographic qualities appear. The way in which these properties influence the different forms of material contact through friction has been a relatively unexplored aspect of prehistoric technology. The analysis of the material behaviour, as developed by material sciences, provides a tool which allows to translate the petrographic characteristics of the rocks into mechanical properties. Therefore, a series of lithologies were subjected to different forms of contact in experimental machines. These industrial machines allow quantifying material wear by measuring material loss and the development of surface roughness. This analytical data makes possible the evaluation of the adjustment between the mechanical properties of the rock and the functions for which they were chosen by prehistoric societies. Finally, the understanding of the mechanical properties of the raw materials together with their forms of exploitation, distribution and use allows giving social and economic meaning to the production systems linked to the macrolithic tools.

Palabras clave: Ciencia de los materiales, caracterización petrográfica, propiedades mecánicas, molinos prehistóricos, Mediterráneo occidental.

Key words: *Material sciences, petrographic characterisation, mechanical properties, prehistoric grinding stones, western Mediterranean.*

I. OBJETIVOS

En arqueología solemos describir los artefactos desde tres enfoques diferentes: el **tipológico**, el **funcional** y el **material**. El acercamiento que podríamos denominar 'clásico' utiliza criterios formales y métricos para ordenar de manera más o menos sistemática los objetos bajo categorías analíticas o sintéticas. El análisis funcional consiste en la observación de las huellas resultantes de los distintos procesos de producción en los que ha participado un artefacto activa o pasivamente, mientras para la descripción material de los artefactos, la investigación arqueológica acude a disciplinas 'auxiliares' capaces de ofrecer algún tipo de caracterización física o química de la materia.

Durante las últimas décadas estos tres enfoques —y de forma especial los análisis funcionales y de caracterización— han experimentado un notable avance metodológico, a la vez que han generado un importante volumen de información empírica. Paralelamente, la propia praxis de estas **formas de ver** lo material ha conllevado una creciente especialización y parcelación de la investigación arqueológica, generando, no sólo en un sentido metafórico, sus propios lenguajes y gramáticas que se ven retroalimentados en proyectos, congresos y redes de investigadores particulares. La pérdida de perspectiva inherente a toda especialización obliga a preguntarnos por el valor heurístico de la información aportada por estos métodos descriptivos y su relevancia en relación al conocimiento de las sociedades humanas. En definitiva, esta pregunta atañe al tipo de interpretaciones en términos sociales, económicos o ideológicos que es posible (o imposible) formular con los datos generados. Las lecturas inmanentes de la forma, la composición y el movimiento de los objetos sociales sólo pueden dar cuenta de ciertos aspectos formales de la sociedad y el medio que los han procurado. Las descripciones tipológicas, funcionales y materiales normalmente permiten generar información sobre la adscripción tecno-cultural de los artefactos, sus formas de uso y la procedencia de las materias primas empleadas, respectivamente. Tal información responde a la pregunta sobre qué se produce, más que a la cuestión de cómo producen las sociedades, y conduce a la investigación arqueológica hacia la vía muerta del estudio de las formas económicas. Trascender los datos empíricos sin caer en lecturas ideológicas, implica preguntar por los principios que organizan la **materialidad social** y que permiten las múltiples formas de expresión de ésta. Esta cuestión hace necesario desligarse de las particulares formas de observación y explicar lo material desde las relaciones producidas entre sus particularidades.

La **tecnología** engloba todos los medios sociales y naturales que una sociedad emplea para satisfacer sus necesidades materiales, así como los modos en los que estos medios son utilizados. Al contrario que otros ámbitos de la estructura social, la tecnología no sólo se describe en relación a su nivel de **complejidad**, sino que se valora en términos de **productividad**. El sentido relativo y relacional de este concepto obliga a abordar en realidad toda una serie de aspectos sociales, económicos y naturales. Así, la productividad puede resultar tanto de la optimización de uno o varios de los factores de producción (objetos de trabajo, medios de trabajo y fuerza de trabajo), como de las prácticas de consumo. Es decir, la productividad de una actividad se establece a distintos niveles y puede ser de distinto signo (maximización o minimización). Debido a su carácter relativo, la productividad llega a tener significados sociales y políticos muy diferentes, incluso antagónicos. Aunque la sociedad occidental tiende a establecer este tipo de relaciones mecánicas, la equiparación de desarrollo tecnológico y mejora de la productividad con incremento de riqueza y generación de plusvalía carece de fundamento teórico. La distinción subrayada por Marx (1962) entre plusvalía absoluta, basada en una abundancia de fuerza de trabajo, y plusvalía relativa, resultante de la mejora de los medios de producción, pone de relieve cómo el aumento de la productividad tampoco es una condición indispensable de la explotación social. Determinados modos de producción, como el esclavismo, incluso tienden a favorecer la simplicidad por encima de la efectividad de los medios de trabajo. En definitiva, la tecnología no sólo obedece a formas de producción concretas. La organización económica y política, así como los valores ideológicos de una sociedad repercuten directamente en su desarrollo tecnológico.

El objetivo de este estudio es abordar analíticamente la relación existente entre las propiedades mecánicas de la materia prima, entendida como objeto de trabajo, y la efectividad de los medios de trabajo. Se trata, por tanto, de construir un marco de referencia para valorar el desarrollo tecnológico y sus implicaciones socio-económicas. Basándonos en el programa de ensayos realizado durante los últimos años, dirigido a explorar diferentes parámetros mecánicos de los medios de producción líticos del Mediterráneo occidental, expondremos en este caso un avance de los resultados obtenidos en relación a las materias implicadas en el proceso de molienda por representar uno de los ámbitos técnicos de mayor importancia en las sociedades de base agrícola. Los **instrumentos de molienda** no sólo resultan indispensables en la transformación del cereal en un alimento que aporta la mayor parte de los carbohidratos a la dieta humana, sino además canalizan un considerable volumen de fuerza de trabajo. El procesado manual del cereal, una tarea realizada prácticamente siempre por mujeres, implica una o más horas de trabajo diario por grupo doméstico. Además, la preparación de un molino determina las condiciones técnicas de la molienda durante toda su vida de uso, que se puede prolongar durante varias décadas. Las observaciones etnográficas disponibles indican que existen claras preferencias técnicas en la selección de las rocas para la fabricación de molinos (p.ej., Hayden, 1987; Schneider, 2002). Ensayos experimentales han confirmado que la materia prima repercute tanto en el rendimiento del trabajo, como en el aprovechamiento del cereal (Risch, 2002: 116-119). Sin embargo, el registro arqueológico del Mediterráneo occidental muestra una considerable variabilidad de tipos de rocas empleadas eminentemente para el procesado del cereal, según ha quedado confirmado mediante el análisis funcional de los artefactos (Menasanch *et al.,* 2002; Delgado, 2008). Para poder valorar las implicaciones económicas y sociales de tal diversidad material resulta indispensable comprender, en primer lugar, cuáles son las propiedades mecánicas de las rocas empleadas y si existen diferencias significativas en términos de eficiencia. Si bien algunos estudios han señalado la importancia de determinadas variables petrográficas (Schneider, 2002) e incluso se han comenzado a definir los **principios materiales** que rigen el comportamiento mecánico de los artefactos de molienda (Schoumacker, 1993), continúan faltando ensayos que permiten establecer el **grado de eficiencia** de las rocas en relación al procesado del cereal.

II. LAS CONDICIONES MATERIALES DEL PROCESO DE MOLIENDA

La transformación del grano en harina requiere una serie de parámetros físicos relativos a la fuerza de trabajo y a los instrumentos de trabajo utilizados. De especial importancia son las materias primas de los molinos y las muelas, al proporcionar los soportes y las texturas implicadas en todo el proceso. Una condición indispensable en el procesado del cereal es la **capacidad abrasiva** de los artefactos. Este concepto expresa la facilidad de los materiales para desarrollar y mantener microtopografías accidentadas, a la vez que oponer resistencia a la fricción. Mientras la rugosidad de las superficies de trabajo garantiza el triturado del cereal, la resistencia del soporte evita la pérdida de volumen y, por tanto, la contaminación del alimento con partículas minerales. Por el contrario, resultan poco adecuadas rocas considerablemente resistentes pero que no desarrollan rugosidad, así como aquéllas que siendo muy rugosas, se desgastan fácilmente (fig. 1). La capacidad abrasiva de la materia prima también repercute en la vida útil de los artefactos. Un material poco resistente no sólo sufre un desgaste mayor, sino que también se fractura antes. La mayoría de los molinos dejan de ser operativos al partirse transversalmente en la zona donde el desgaste es más acusado y el grosor es mínimo.

Otro criterio importante que influye en la duración de la vida operativa de los instrumentos de molienda es la capacidad de mantener inalteradas las condiciones iniciales de rugosidad, propiciadas por el proceso de preparación de la superficie activa. Cuanto peor cumpla el molino con este requisito, más frecuentes serán las actividades requeridas para su mantenimiento y, en consecuencia, más corta su vida de uso.

Rugosidad y resistencia son el efecto material de una serie de **propiedades intrínsecas de las rocas**, que pueden ser descritas en términos petrográficos. La principal dificultad para establecer un nexo directo entre variables materiales y hábitos mecánicos reside en el hecho de que todas las propiedades intrínsecas están interrelacionadas de diferentes maneras y a distintos niveles, a la vez que no todas influyen de la misma forma en el comportamiento de la roca. En este sentido, distintos tipos de ensayos mecánicos permiten someter las rocas a diferentes factores externos y valorar la importancia de las propiedades intrínsecas en su comportamiento.

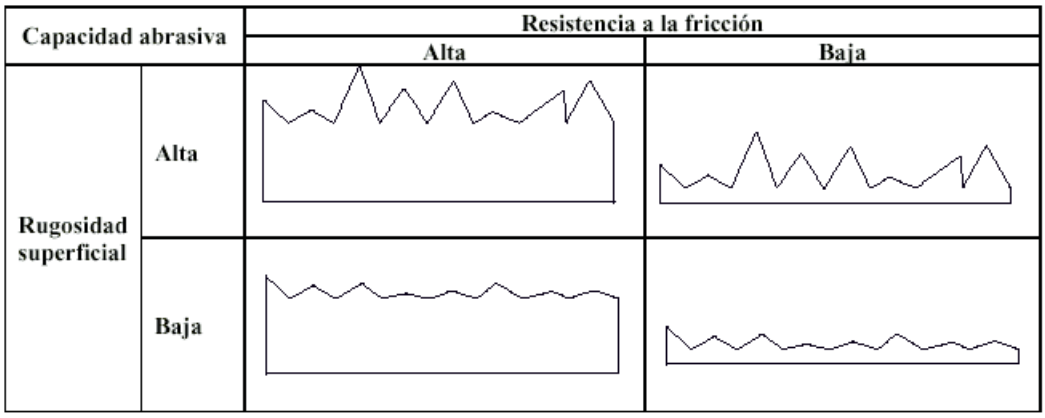


Figura 1. Representación ideal de la relación entre rugosidad superficial y resistencia de las rocas en los procesos de fricción.

III. LAS CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LOS ARTEFACTOS DE MOLIENDA (VARIABLES INTRÍNSECAS DE LAS ROCAS)

El estudio petrográfico de los artefactos macrolíticos de varios yacimientos prehistóricos del Mediterráneo occidental ha puesto de manifiesto el uso de una notable variedad de rocas en los procesos de molienda (Risch, 1995; Delgado, 2008). Así, en diferentes épocas y espacios fueron empleadas rocas **volcánicas**, como andesitas, dacitas y basaltos, además de rocas **metamórficas**, en especial micaesquistos granatíferos. Igualmente representadas están algunas rocas **sedimentarias**, como conglomerados y areniscas. Se trata de materias primas de distinta formación geológica, distribución geográfica y, sobre todo, con pronunciadas diferencias composicionales y texturales.

El primer paso de cara al análisis de las propiedades mecánicas es la definición de las características petrográficas de las rocas que potencialmente pueden influir en la capacidad abrasiva de las mismas. Se trata de **variables intrínsecas** de las rocas que resultan independientes de los procesos mecánicos en las que intervienen y han sido obtenidas mediante los procedimientos que tradicionalmente se utilizan en petrografía (Esbert *et al.,* 1997; Montoto, 2003), observación de lámina delgada bajo el microscopio petrográfico e introducción de las rocas, en forma de probetas métricamente estandarizadas, en bombas de vacío. A continuación se describen las variables que hemos tenido en cuenta y se resumen en la tabla 1.

- **Composición mineralógica:** Queda definida por el contenido mineralógico y el porcentaje relativo con el que aparece cada especie mineral. Hemos asignado una **homogeneidad composicional** *alta* a aquellas rocas que contienen de 1 a 2 minerales, *media,* a las que presentan 3 ó 4 minerales y *baja,* a las que incluyen más de 4. Además de la composición genérica, hemos considerado que el contenido en cuarzo podría tener cierta relevancia en el comportamiento de los materiales ya que se trata de uno de los minerales más duros (7 en la escala relativa de Mohs) y más frecuentes entre las rocas.

- **Forma:** Las partículas (granos o cristales) de una roca pueden presentar diferentes formas según las condiciones en que se han formado. Para describir su morfología hemos registrado la **angulosidad** o las irregularidades de la superficie de una partícula (índice de redondeamiento para rocas sedimentarias o grado de desarrollo de las caras cristalinas para rocas ígneas y metamórficas). En el caso de las rocas sedimentarias la angulosidad es *alta, media* o *baja* según el grado de redondeamiento del grano. En rocas ígneas y metamórficas el concepto es equivalente y se denominan idiomorfas cuando el contorno de las partículas es recto y limitado por caras cristalinas, y subidiomorfas o alotriomorfas a medida que los límites entre cristales van siendo parcial o totalmente irregulares.
- **Tamaño absoluto:** Teniendo en cuenta que las rocas pueden estar constituidas por partículas micrsocópicas (afaníticas) hasta partículas observables a simple vista (faneríticas), se han registrado la **granulometría máxima** y **mínima**, en micras, de los componentes minerales.
- **Tamaño relativo:** Las partículas incluidas en una roca pueden tener tamaños diferentes, de los cuales depende el **grado de homogeneidad granulométrica**. En las rocas *equigranulares* todos los granos son aproximadamente del mismo orden de magnitud, mientras en las *inequigranulares* hay importantes diferencias entre el tamaño de los granos o cristales. Se reserva el término *bimodal* para los casos en que existen dos poblaciones de tamaños claramente definidas, una de tamaño mayor y otra de tamaño más fino o correspondiente a la matriz, y el término *seriado* para los casos en que existe una población muy diversificada.
- **Densidad aparente:** Informa sobre el peso de una unidad de volumen de la roca. Se expresa en gramos por centímetro cúbico, es decir, si la densidad aparente fuera de 2 g/cm^3 implicaría que cada metro cúbico de material pesaría 2.000 kg.

$$D_{ap} = \frac{M_o\,[g]}{v\,[cm^3]}$$

donde M_0 es la masa y v es el volumen

- **Porosidad:** Es el volumen de huecos o conjunto de espacios libres (poros) que posee la roca en su interior. Para definir este aspecto se utilizaron dos variables. La primera de ellas se obtuvo bajo observación directa de la lámina delgada y consiste en una **estimación porcentual de espacios libres**. La segunda se define experimentalmente, a partir del conjunto de poros conectados entre sí, en los cuales puede penetrar el agua, y se denomina **porosidad abierta**. Como pudimos comprobar posteriormente, la correlación entre ambas resultó ser alta.

$$Porosidad\ abierta = \frac{(D_{re} / D_{ap})}{D_{re}}$$

- **Dureza:** Teniendo en cuenta que las rocas forman agregados de minerales con microdurezas diversas, se ha calculado la dureza media ponderada utilizando la escala de valores absolutos *(mineral microhardness-Gpa;* Broz *et al.,* 2006: 135-142) y el porcentaje de minerales presentes en cada caso, con el fin de asignar un valor de dureza genérico a cada una de las litologías.

$$D = \frac{(da \cdot \%a) + (db \cdot \%b) + (dc \cdot \%c) + (dd \cdot \%d)}{100}$$

donde *a, b, c, d* son los minerales que componen la roca; *%a, %b, %c, %d* son los porcentajes de cada mineral en la roca; *da, db, dc, dd* son los valores absolutos de microdureza de la escala Gpa

- **Cohesión:** Se entiende como el grado de unión o coherencia entre los componentes de una roca que es la propiedad opuesta a la **friabilidad** o facilidad para descomponer o disgregar la roca en fragmentos. Debido a que resulta muy difícil realizar una estimación cuantitativa de esta propiedad se han distinguido tres categorías de cohesión: *alta, media* y *baja.* En las rocas sedimentarias, materiales friables por naturaleza (lutitas, areniscas y conglomerados), la cohesión aumenta cuando la selección es mala ya que se incrementa la superficie de contacto entre partículas y cuanto mayor es la cementación de la roca, sobre todo, cuando el cemento es de la misma composición que los granos del esqueleto. En las rocas plutónicas y metamórficas la cohesión aumenta con el grado de interpenetración e intercrecimiento, al cristalizar o recristalizar sus minerales (texturas), y con la disminución del tamaño de grano, sin olvidar que las últimas fases minerales en cristalizar actúan de manera similar a como lo hace el cemento en las rocas sedimentarias.

- **Textura:** Esta variable representa una categoría sintética que hace referencia a la disposición relativa, forma y tamaño de las partículas minerales en base a las tres familias de rocas incluidas en el estudio con su nomenclatura propia: sedimentarias, metamórficas e ígneas (intrusivas y extrusivas).

- **Orientación:** Es la disposición geométrica preferente de las partículas de formas inequidimensionales (prismáticas o tabulares), que depende fundamentalmente de las fuerzas ejercidas sobre ellas. Cuando no existe una orientación determinada o ésta es al azar, se denomina **isótropa** (masiva) mientras que si existe un sentido preferente la orientación será **anisótropa** (imbricación, foliación, lineación, bandeado). El comportamiento anisótropo de una roca también puede deberse a la existencia de **estructuras** primarias del tipo laminaciones, estratificaciones, gradaciones granulométricas o secundarias como venas, estilolitos, microfracturas, microplieges, ya que estas superficies estructurales actúan como verdaderas discontinuidades o planos de debilidad de la roca.

- **Alteración:** Es necesario resaltar que el grado de alteración química de los minerales, que es el que determina el grado de alteración de la roca en su conjunto, disminuirá la resistencia mecánica del material y por tanto, es un factor a tener en cuenta a la hora de realizar ensayos comparativos entre litologías. Las rocas analizadas en este estudio no evidencian procesos de alteración significativos que hayan podido influir en su comportamiento mecánico. Aunque no se trata de alteración en sentido estricto, cabe mencionar la retrogradación, como proceso de transformación de la roca relacionado exclusivamente con las corneanas. Se trata de la alteración parcial de la cordierita a filosilicatos, lo cual conduce, en este caso, a un fuerte intercrecimiento de los mismos.

Litología	Minerales			Homogeneidad composicional	Angulosidad	Granulometría		Homogeneidad granulométrica
	Dominantes	%	Accesorios			máxima	mínima	
Arenisca	**Carbonato Cemento Cuarzo Mica Fragmentos metamórficos**	**30-40 30 20 5 5**	**Glauconita Cemento ferruginoso**	**Baja**	**Media**	**150**	**40**	**Equigranular**
Basalto vesicular	**Vidrio basáltico (taquilita) Olivino Piroxeno (augita) Plagioclasa**	**45 10 10 5**	**Minerales opacos (magnetita)**	**Media**	**Alta**	**3200**	**<1**	**Inequigranular seriada**
Calcarenita	**Cuarzo Aloquímicos**	**1-5 85-89**	**Glauconita**	**Alta**	**Alta**	**2000**	**70**	**Inequigranular seriada**
Conglomerado	**Cemento Cuarzo Bioclastos Fragmentos de roca: dolomía y caliza Esquisto Arenisca**	**25 20 10 >20 10 5**	**-**	**Baja**	**Media**	**1200**	**80**	**Inequigranular**
Cornubianita de grano fino	**Filosilicato (moscovita) Cordierita**	**70 30**	**Cuarzo Biotita Clorita**	**Alta**	**Alta**	**400**	**<1**	**Inequigranular bimodal**
Cornubianita de grano medio	**Cordierita poiquilítica Filosilicato (moscovita) y cuarzo**	**60 40**	**-**	**Alta**	**Alta**	**1200**	**5**	**Inequigranular bimodal**
Gabro	**Plagioclasa Clinopiroxeno (augita zonada)**	**60 40**	**Cuarzo**	**Alta**	**Alta**	**3200**	**200**	**Equigranular**
Gneis	**Cuarzo Moscovita Granate Feldespato potásico Plagioclasa Turmalina Biotita**	**50 10 10 10 10 5 1**	**Apatita**	**Baja**	**Alta**	**2000**	**40**	**Inequigranular seriada**
Mármol de Macael	**Calcita**	**100**	**Cuarzo**	**Alta**	**Alta**	**2800**	**1200**	**Equigranular**
Micaesquisto granatífero	**Cuarzo Moscovita Granate Turmalina**	**55 20 15 10**	**Circón Monacita Minerales opacos (óxido de hierro)**	**Media**	**Alta**	**1000**	**40**	**Inequigranular**

Tabla 1. Características petrográficas (variables intrínsecas) de las litologías analizadas.

Litología	Densidad aparente	Porosidad abierta %	Porosidad %	Microdureza media ponderada	Cohesión	Textura	Orientación	Alteración
Arenisca	2,47	8,45	5-10	3,4	Media	Clástica	Anisótropa por laminación	
Basalto vesicular	2,25	18,72	30 (5000 micras)	7,1	Alta	Vitrofídica, afanítica, porfídica	Isótropa	
Calcarenita	2,48	2,96	5-10	1,8	Media	Clástica	Anisótropa por laminación	
Conglomerado	2,32	12,71	5-10	3,4	Media	Clástica	Isótropa	
Cornubianita de grano fino	2,86	0,21	-	4,1	Alta	Esquistosa poiquiloblástica	Isótropa (orientación muy leve)	Retrograd.
Cornubianita de grano medio	2,74	0,23	-	7,6	Alta	Esquistosa poiquiloblástica	Isótropa (orientación muy leve)	Retrograd.
Gabro	2,89	0,22	-	6,3	Media	Fanerítica, panidiomórfica	Isótropa	
Gneis	2,62	3,61	5-10	9,4	Media	Milonítica, foliada gnéisica	Anisótropa por foliación	
Mármol de Macael	2,69	0,36		1,5	Media	Cristalina xeno-granoblástica	Isótropa	
Micaesquisto granatífero	2,77	1,44	<5	9,9	Alta	Esquistosa lepidoblástica	Anisótropa por foliación	

Tabla 1. Características petrográficas (variables intrínsecas) de las litologías analizadas (continuación).

IV. EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MATERIAS PRIMAS (VARIABLES DE CONTROL)

El comportamiento de las rocas y sus variables intrínsecas puede ser analizado mediante ensayos mecánicos desarrollados desde las ciencias de los materiales. Diferentes tipos de máquinas generan ambientes de desgaste específicos, a la vez que la normativa UNE *(Una Norma Española)*[1] vigente establece los protocolos a seguir en cada tipo de prueba. Estas técnicas garantizan que las condiciones métricas de las probetas y las variables externas, como son el tiempo de experimentación, la velocidad de movimiento, el tipo y la cantidad de abrasivos o la carga, se mantengan constantes, haciendo posible una comparación entre los resultados de los ensayos.

Los ensayos de fricción realizados van destinados a determinar la velocidad y la forma en la que se desgastan las rocas frente a un roce continuo sobre superficies de contacto sólidas (ensayo **Pista Dorry**) o adyuvantes (ensayo **PEI**), ambas de acero, a las que se interpone un abrasivo de corindón. En la primera prueba se hace girar la probeta sobre una pista circular, al tiempo que se le aplica una carga constante de 20 kg. El segundo procedimiento consiste en hacer oscilar 300 g de bolas de acero de tamaño milimétrico, a 300 revoluciones por minuto, sobre la zona central de la probeta (fig. 2). Estos ensayos se repiten durante varios ciclos, al término de cada cual se realizan las mediciones pertinentes.

Una de las variables de control registradas, permite valorar la **resistencia de la roca a la fricción** y se mide, en ambos ensayos, mediante la **pérdida de volumen** de la probeta expresada en cm^3.

1. Los ensayos realizados se basan en la normativa UNE-67-154-92 y UNE-22-173-85.

Además se ha registrado el grado de **rugosidad de la superficie** de contacto, en todas las probetas sometidas a ensayo. Para ello se ha utilizado la rugosimetría táctil, técnica que ofrece una lectura amplificada de las irregularidades existentes en la microtopografía (Halling, 1975). La caracterización del perfil microtopográfico se ha realizado en función de la desviación sobre la media aritmética *(Ra)* y del mayor desnivel existente entre dos puntos adyacentes del perfil *(desnivel máximo).* Ambos valores permiten inferir la capacidad de la roca de desarrollar superficies rugosas (fig. 3).

La conjunción de ambas cualidades mecánicas, es decir, la resistencia a la fricción y la mayor o menor facilidad de desarrollar superficies rugosas, permite finalmente definir la **capacidad abrasiva** de las rocas. Como hemos expuesto anteriormente, esta cualidad es determinante en relación a la eficiencia del instrumento y la productividad del trabajo, puesto que de ella dependen en buena medida la velocidad en la obtención de harina, la pureza del producto final y la duración de la vida operativa del instrumento. A su

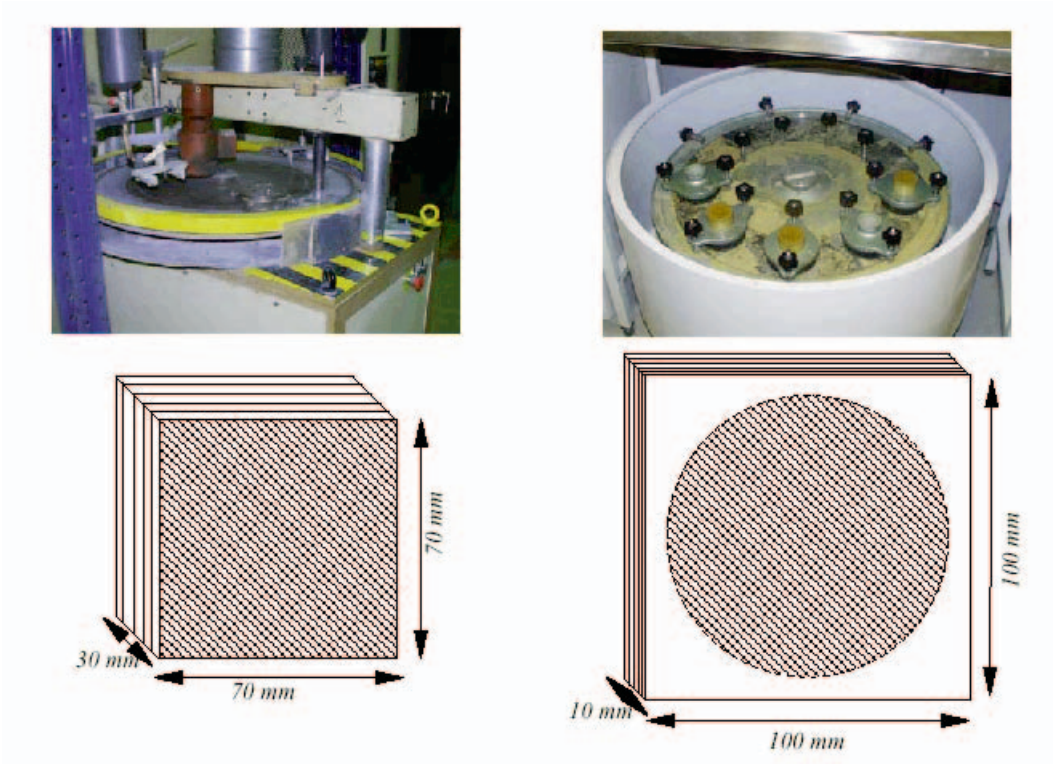


Figura 2. Detalle de las máquinas de ensayo utilizadas: Pista Dorry (izquierda) y PEI-*Porcelain Enamel Institute* (derecha), con sus respectivas probetas. Las zonas tramadas indican la localización de la superficie de desgaste.

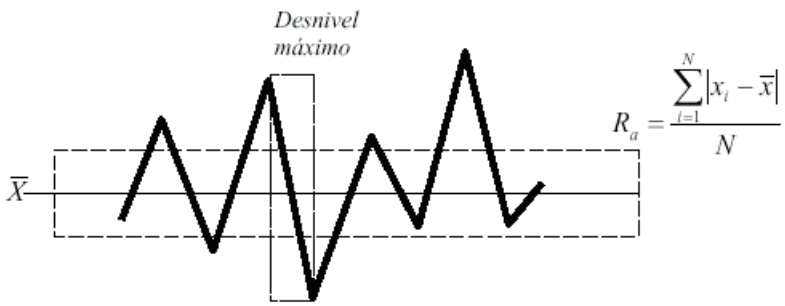


Figura 3. Proyección microtopográfica de un perfil mostrando los dos parámetros utilizados para la caracterización de la rugosidad de una superficie. Donde R_a es el sumatorio de las diferencias absolutas entre el valor, en centésimas de milímetro, obtenido para cada punto x_i y el promedio $\overline{x}$ del total de los N valores incluidos en el cálculo.

vez, el desglose de cada ensayo en diferentes ciclos experimentales, permite caracterizar los ritmos de desgaste de las probetas y determinar la forma en que el grado de rugosidad varía o se mantiene, a lo largo del proceso de desgaste.

Los datos obtenidos al término de cada ensayo son indicadores del comportamiento mecánico de los materiales y funcionan como **variables de control** de las propiedades físicas de las rocas (tab. 2), expresadas en las **variables intrínsecas**. En definitiva, los ensayos realizados no reproducen los procesos de molienda cerealista, sino que ponen a prueba, de forma sistemática y estandarizada, los parámetros físicos implicados en estos procesos.

Ensayos	Capacidad abrasiva (PEI)			Capacidad abrasiva (Dorry)		
Litología	Rugosidad (Ra)	Desnivel máximo	Volumen perdido	Rugosidad (Ra)	Desnivel máximo	Volumen perdido
Arenisca	2,25	12,67	2,05	2,38	5,33	14,11
Basalto vesicular	12,15	-	0,74	13	152,17	4,14
Calcarenita	1,55	5,5	0,73	2,20	7,67	20,70
Conglomerado	10,22	92,33	0,94	2,63	12,5	7,94
Cornubianita de grano fino	1,2	3,5	0,67	1,17	2,33	4,41
Cornubianita de grano medio	1,26	3,5	0,55	1,76	2,33	2,81
Gabro	2	5,5	0,27	1,8	4,33	6,31
Gneis	11,66	49,17	1,44	12,33	27	8,52
Mármol de Macael	1,52	5,5	1,17	1,3	2,5	16,49
Micaesquisto granatífero	3,79	19,83	0,64	5,39	16,17	3,14

Tabla 2. Resultados (variables de control) obtenidos a partir de los ensayos mecánicos.

V. RESULTADOS ANALÍTICOS Y DISCUSIÓN

Una vez descritas las características petrográficas de las rocas y realizados los ensayos mecánicos, es necesario poner en relación las propiedades petrográficas y mecánicas de las rocas, con el fin de explicitar el grado de influencia que tiene cada una de ellas en el comportamiento mecánico. Para ello hemos realizado un test de correlación entre las **variables intrínsecas** (cuantitativas) y las **variables de control**. Los índices obtenidos ponen de manifiesto que sólo algunas de las características petrográficas resultan relevantes en la configuración de la **capacidad abrasiva** de las rocas. Así mismo, dependiendo del tipo de contacto (superficies adyuvantes/rígidas), algunas variables intrínsecas reaccionan de forma más sensible que otras, actuando e incidiendo en la formación de desgaste.

En líneas generales, podemos afirmar que la capacidad de una roca para generar rugosidad está condicionada de forma significativa por la homogeneidad composicional (tab. 3). La variedad mineralógica incrementa la presencia de partículas con propiedades heterogéneas, expuestas en la superficie de la roca. Ello conducirá a la extracción o deformación por fractura[2] de las partículas minerales menos resis-

2. La cohesión de una roca, tal y como la hemos definido a efectos de este estudio, no establece una correlación significativa de tipo alguno con la rugosidad. Este hecho se debe, probablemente, al mayor peso de la composición mineralógica en la formación de rugosidad. Es decir, cuando la cohesión es alta y la homogeneidad composicional media-baja (p. ej., micaesquisto granatífero), la fricción actúa intensamente sobre los minerales menos resistentes, fracturándolos y/o disgregándolos, independientemente de que el nivel de unión entre todas las partículas constituyentes de la roca, sea alto.

tentes y a la permanencia de otras, con mejores cualidades mecánicas, obteniendo así superficies sumamente irregulares. Uno de los minerales que mayores implicaciones tiene en el desarrollo de la rugosidad es el cuarzo, tal y como se desprende, sobre todo, del ensayo realizado sobre la pista Dorry. El contenido en cuarzo favorece la formación de superficies rugosas, al igual que ocurre con la microdureza media de las rocas en el mismo ensayo. Teniendo en cuenta que en la mayoría de las rocas que contienen cuarzo, este mineral coexiste con otros bastante más blandos, como son los filosilicatos, se dan buenas condiciones para la formación de irregularidades superficiales.

Frente a estas heterogeneidades que derivan de la inclusión de mineralogías mecánicamente opuestas, el ensayo sobre PEI demuestra que en tipos de contacto con superficies adyuvantes, el grado de porosidad de la roca y la densidad aparente, influyen de forma significativa en su rugosidad. De esta manera, una mayor densidad va en detrimento del desarrollo de superficies rugosas, mientras que la porosidad las favorece. Esta última propiedad, que también expresa la frecuencia de heterogeneidades en la roca, representadas por los espacios vacíos, constituye uno de los aspectos litológicos claramente valorados por las comunidades prehistóricas. En efecto, la frecuencia de poros, en forma de vesículas milimétricas, incluidas en las rocas volcánicas junto con su alta cohesión hizo de ellas una materia prima muy preciada en la producción de molinos.

Al igual que ocurre con la capacidad de las rocas de generar rugosidad, su resistencia a la fricción también aparece condicionada por una serie de propiedades petrográficas. En este caso, la densidad aparente de las rocas ha influido en ambos tipos de ensayo, en tanto que valores mayores de densidad implican mejores cualidades para resistir la fricción (tab. 3). En el mismo sentido parece actuar el grado de cohesión entre los minerales, tal y como se desprende del ensayo realizado sobre la pista Dorry y, en menor medida, del ensayo sobre PEI. Cuanto más pronunciada es la interpenetración y unión entre las partículas, mejores condiciones se dan para resistir el contacto por fricción. En contraposición a ambas variables, se puede considerar que la porosidad actúa, en cierta medida, en detrimento de la resistencia a la fricción, a juzgar por los valores obtenidos en el ensayo sobre PEI.

Var.de control / Var. intrínsecas	PEI			Dorry		
	Rugosidad Ra	Desnivel Máximo	Volumen perdido	Rugosidad Ra	Desnivel Máximo	**Volumen perdido**
Homogeneidad composicional	**-0,775**	**-0,744**	**-0,694**	**-0,578**	**-0,671**	0,028
Contenido en cuarzo	**0,486**	**0,308**	**0,146**	**0,698**	**0,700**	-0,469
Angulosidad	**-0,321**	**-0,574**	**-0,581**	**0,149**	**-0,001**	-0,147
Granulometría máxima	**0,015**	**-0,103**	**-0,365**	**0,067**	**0,024**	0,265
Granulometría mínima	**-0,219**	**-0,194**	**0,107**	**-0,243**	**-0,295**	0,435
Densidad aparente	**-0,478**	**-0,645**	**-0,550**	**-0,086**	**-0,259**	-0,524
Porosidad abierta	**0,583**	**0,794**	**0,519**	**0,079**	**0,276**	0,190
Microdureza	**0,341**	**0,091**	**-0,207**	**0,653**	**0,592**	-0,735
Cohesión	-0,343	-0,323	-0,443	-0,140	-0,177	-0,703

Tabla 3. Índices de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y las variables de control obtenidas en los ensayos de fricción.

Otras variables afectan a las rocas en diferente grado, dependiendo claramente del ambiente de desgaste, con lo que no permiten reconocer patrones de incidencia que actúen de forma recurrente en el comportamiento material. En el caso del ensayo sobre PEI, cuanto mayor es la angulosidad de las partículas minerales y su homogeneidad composicional, mayor es también la resistencia que opone la roca a la fricción. Por el contrario, la porosidad influye negativamente en la resistencia a la fricción. En relación a la pista Dorry, la microdureza y, en menor medida, el contenido en cuarzo, otorgan a la roca buenas propiedades para soportar procesos de fricción.

Por consiguiente, la complejidad que se desprende de estas relaciones indica que una sola propiedad intrínseca puede llegar a reaccionar de forma diferenciada, dependiendo del tipo de superficie con la que entra en contacto la roca. Además, los resultados analíticos subrayan que el comportamiento mecánico de las rocas depende más de relaciones entre factores materiales que de variables intrínsecas específicas. Para determinar estas relaciones estructurales con mayor precisión será necesario extender los ensayos mecánicos y los análisis petrográficos a una mayor variedad de rocas.

Los resultados obtenidos también ponen de manifiesto las marcadas diferencias existentes entre las materias primas analizadas. Así, se reconocen rocas con una mayor rugosidad[3] y/o que mantienen las condiciones superficiales de partida más inalteradas. Con el fin de valorar la capacidad abrasiva de cada una de las rocas, los resultados de ambos tipos de ensayo han sido unificados en dos valores promedio, uno representativo de la rugosidad y el otro de la resistencia a la fricción (fig. 4).

Muchas litologías se disponen entorno al valor *Ra=2,* con lo que presentan malas condiciones para el desarrollo de la rugosidad. Estos materiales son petrográficamente muy variados entre sí pero incluyen normalmente un grado de homogeneidad composicional alto, como es el caso de las **calcarenitas**, los **mármoles**, las **corneanas** y los **gabros**. La única roca composicionalmente heterogénea, la **arenisca**, presenta una microdureza baja y una granulometría fina que podrían haber impedido el desarrollo de desniveles pronunciados en su microrrelieve. Sin embargo, entre estos materiales se registran dos grupos claramente diferenciados en función de la resistencia que oponen a la fricción. El grupo formado por las **corneanas** y el **gabro** asocia microdurezas y grados de cohesión preferentemente altos, mientras que a **areniscas**, **calcarenitas** y **mármoles** se atribuyen valores inferiores en ambas variables.

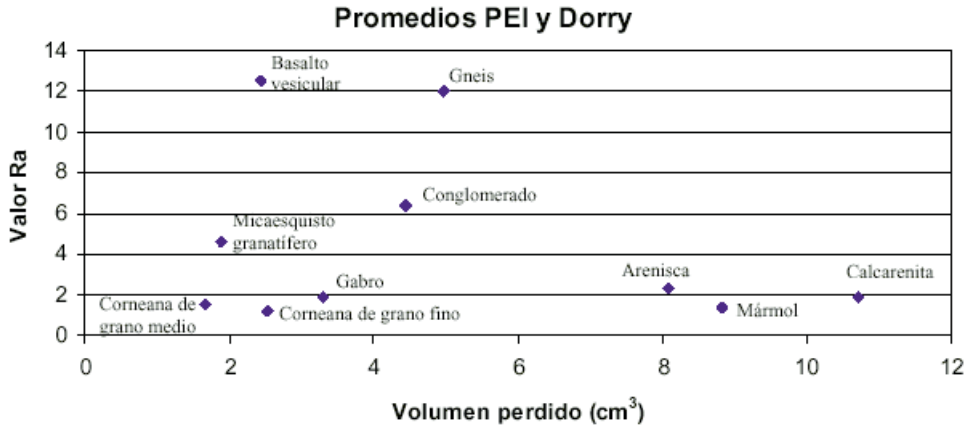


Figura 4. Capacidad abrasiva de las rocas incluidas en los ensayos, según la rugosidad *Ra* desarrollada frente a su resistencia a la fricción.

3. Ambos valores definitorios de la rugosidad *(Ra* y *Desnivel máximo)* están altamente correlacionados entre sí (0,90 en PEI; 0,95 en Dorry).

Frente a este grupo de rocas, destacan litologías que presentan una capacidad abrasiva mayor, si bien sumamente variable. Por un lado, el grado de rugosidad superficial que llegan a desarrollar el **basalto vesicular**, el **gneis**, el **micaesquisto granatífero** y el **conglomerado**, está claramente relacionado con la coexistencia, en estas rocas, de minerales muy heterogéneos como cuarzo, mica, plagioclasa, turmalina, feldespato, granate, olivino, etc. Entre dichas rocas, los valores más altos de rugosidad se atribuyen al **basalto** y al **gneis** (Ra ≥ 12). En el caso del **basalto** resulta crucial la presencia de auténticas vacuolas que no representan otra cosa que marcadas interrupciones en la matriz vítrea y que son las verdaderas generadoras de rugosidad. La razón de la mayor capacidad abrasiva del gneis se encuentra en el mayor tamaño del grano, en especial, de los minerales de gran dureza (cuarzo y feldespatos). Igualmente, la pérdida de volumen, que varía entre 2 y 6 cm^3, introduce diferencias sustanciales entre las cuatro litologías. El hecho de que el **basalto vesicular** y el **micaesquisto granatífero** presenten, en oposición al **gneis** y al **conglomerado**, un grado de cohesión alto, ha podido favorecer su resistencia a la fricción.

Si bien los valores que caracterizan la rugosidad del **esquisto granatífero** no son excesivamente altos, es interesante mencionar que esta roca resulta tanto o más resistente que las corneanas y los gabros. Además, se trata del material que más constante ha mantenido su rugosidad superficial a lo largo de los ciclos experimentales realizados. Por su parte, el **conglomerado** y el **gneis** presentan una resistencia a la fricción bastante más reducida debido a que son rocas con una menor cohesión entre las partículas.

A la luz de los resultados obtenidos en los ensayos de fricción, proponemos la definición de las rocas en función de su capacidad abrasiva, en cuatro grupos correspondientes al modelo simplificado que hemos mostrado anteriormente (fig. 1). Como hemos indicado, teóricamente podríamos encontrar materiales con una alta resistencia a la fricción, pero con una baja rugosidad superficial, así como materiales altamente resistentes que a la vez son capaces de mantener índices de rugosidad elevados. Por el contrario, entre los materiales con una resistencia a la fricción baja, también se encuentran aquéllos que desarrollan superficies muy rugosas y aquéllos que apenas producen rugosidad.

Siguiendo este esquema, entre las litologías con una mayor capacidad abrasiva figuran los **basaltos** y, en menor medida, los **micaesquistos granatíferos**, dada su pronunciada capacidad de resistir procesos de fricción y de mantener relativamente inalteradas sus propiedades mecánicas (fig. 5). Si bien los **conglomerados** y los **gneises** pueden llegar a desarrollar índices de rugosidad altos bajo determinadas condiciones tribológicas, son poco resistentes a la fricción. El resto de los materiales presenta una menor capacidad abrasiva, debido principalmente a su dificultad de generar superficies rugosas.

CAPACIDAD ABRASIVA		RESISTENCIA A LA FRICCIÓN	
		ALTA	BAJA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL	ALTA	Basalto vesicular Micaesquisto con granates	Conglomerado Gneis
	BAJA	Corneanas Gabro	Arenisca Mármol Calcarenita

Figura 5. Agrupación de las rocas analizadas según los dos parámetros que definen su capacidad abrasiva.

VI. IMPLICACIONES ARQUEOLÓGICAS

Los resultados proporcionados por los ensayos mecánicos ponen de manifiesto la diferente capacidad abrasiva de las rocas. Como hemos indicado al principio, estas cualidades materiales repercuten directamente en la eficiencia de los medios de trabajo y, en consecuencia, en la productividad de la fuerza de trabajo.

La preferencia por rocas volcánicas, especialmente basaltos vesiculares, observada tanto en época prehistórica como clásica en todas aquellas regiones donde fue posible acceder a estos materiales, queda explicada por su alta capacidad abrasiva. La facilidad de estas rocas porosas para regenerar su propia rugosidad durante el proceso de molienda reduce la importancia de los trabajos de repiqueteado de las superficies activas y, por tanto, supone una prolongación de la vida de uso. Del total de la muestra, el basalto vesicular es además uno de los litotipos que menos volumen pierde.

El micaesquisto granatífero, una roca utilizada de forma dominante en el sudeste peninsular durante la Prehistoria, favorece el desarrollo de una rugosidad superficial menor que en el caso del basalto. Este comportamiento debía ser mejorado mediante trabajos periódicos de reacondicionamiento de la superficie, tal como confirman las huellas de repiqueteado registradas en los molinos prehistóricos. Sin embargo, la fuerte resistencia que el micaesquisto opone a los procesos mecánicos, sólo superada por la corneana de grano medio, le confirió buenas condiciones para una vida de uso prolongada. Además, como hemos indicado anteriormente, la rugosidad propia del micaesquisto con granates resulta muy constante.

Menos eficientes serían los molinos de gneis y de conglomerado debido a su baja resistencia a la fricción. El producto obtenido con estos útiles de trabajo debía contener muchos más residuos minerales que la harina producida con basaltos y micaesquistos. Además, un mayor desgaste implica un mantenimiento frecuente y, por tanto, una vida de uso más corta. Trabajos experimentales han confirmado que el rendimiento de harina por unidad de tiempo de trabajo con estas litologías es c. 22% menor que cuando se utilizan artefactos de micaesquisto granatífero (Risch, 2002: 115-116).

El resto de las rocas resultan poco idóneas para el procesado de cereal por la escasa capacidad abrasiva. Las rocas sedimentarias y el mármol se distinguen además por un mayor desgaste material, como también se desprende de algunos datos etnográficos y experimentales (Wright, 1993: 352; Baudais y Lundström-Baudais, 2002: 168-169). Así, ha sido posible medir en los molinos de micaesquisto granatífero utilizados en el noroeste de Nepal un desgaste de 4,1 mm cada 10 años. Al contrario, se estima que los metates de arenisca de la Formación Dacota en el suroeste de Estado Unidos habrían sufrido una pérdida de grosor entre 3,6 y 10,9 mm anuales.

El comportamiento mecánico de las rocas proporciona un criterio técnico para valorar la efectividad de los instrumentos de trabajo implicados en los procesos de molienda. Este referente material resulta indispensable para determinar los factores medioambientales, económicos y políticos que condicionan el despliegue de los medios de producción en una sociedad (fig. 6). Los recursos geológicos de los territorios controlados por cada grupo social pueden limitar las opciones técnicas de forma natural. Sería el caso observado, por ejemplo, en la isla de Mallorca durante el periodo Talayótico (c. 850-550 cal ANE) donde tanto morteros, como molinos se fabrican de areniscas locales. Tal situación mejoró en la segunda mitad del I milenio cuando el desarrollo de redes de intercambio y medios de transporte permitió el abastecimiento de *Bundsandstein,* una arenisca silícea y algo porosa procedente de la zona de Tramontana de Menorca o de la costa norte de Mallorca (Risch, 2003). Un ejemplo de estrategias de optimización técnica dirigidas a producir plusvalía relativa gracias a la mayor circulación de materias primas sería la organización de la producción y distribución a larga distancia de molinos basálticos en el Imperio Romano (Williams-Thorpe, 1988; Williams-Thorpe y Thorpe, 1993). Una serie de canteras abastecían a todo el Mediterráneo con molinos de tipo industrial accionados por burros o esclavos.

En otros casos, la variabilidad de las materias primas seleccionadas refleja que las sociedades no tuvieron en cuenta criterios de productividad. Esta situación ha sido observada, por ejemplo, en algunos asentamientos calcolíticos del sudeste peninsular durante el III milenio ANE (Risch, 1995: 348-349; Delgado, 2008). Los materiales de mayor calidad, independientemente de las distancias de transporte, no son utilizados de forma más intensa, ni más frecuente. La baja estandarización de los soportes puede responder a la disponibilidad de suficiente fuerza de trabajo para realizar la molienda y/o a una escasa importancia económica del procesado cereal, seguramente reflejo de las formas de producción subsistenciales y de los hábitos de alimentación (fig. 6).

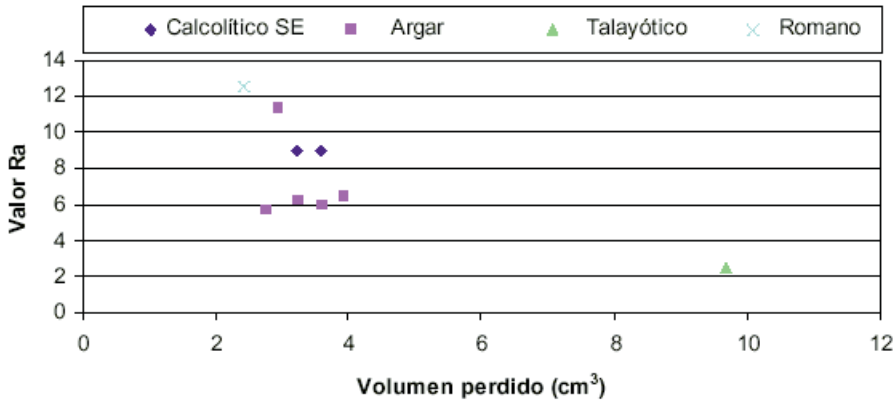


Figura 6. Efectividad "media" de los molinos en distintos asentamientos y épocas. El cálculo de los valores se basa en el número de molinos de diferente litología registrados en cada yacimiento y el valor medio de Ra y pérdida de material (cm^3) de los ensayos PEI y Dorry.

Finalmente, el uso de materiales de deficiente calidad y diferente litología también puede reflejar una baja valoración social no del producto obtenido, sino de la propia tarea de molienda. En estas situaciones se combina una abundancia de fuerza de trabajo con condiciones de explotación social y algún tipo de limitación extra-económica. Un buen ejemplo de estas estrategias de producción de plusvalía absoluta se constata en El Argar, en la primera mitad del II milenio ANE, donde la cebada se convirtió en el principal medio de subsistencia (Risch, 1995: 318-334). Asentamientos de altura, situados a escasos kilómetros unos de otros, presentan diferencias significativas en cuanto a las cualidades técnicas de sus artefactos de molienda. Si bien existió una tendencia a la especialización en las rocas de mayor calidad, ésta se circunscribe básicamente a los materiales disponibles en el territorio controlado por cada centro. En este caso, las estructuras de poder restringieron la circulación de bienes de uso, incluso en detrimento de la productividad de ámbitos económicos como la producción subsistencial básica, probablemente como consecuencia del control territorial ejercido por éstas sobre los recursos y la población dependiente. En definitiva, los resultados presentados en este estudio indican que una valoración económica, social y política de las comunidades prehistóricas pasa necesariamente por la caracterización material y mecánica de los medios de producción conservados en el registro arqueológico.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Juan Martínez (Departamento de Construcción de Applus, Bellaterra) por haber puesto a nuestra disposición la maquinaria necesaria para realizar los ensayos pertinentes. A Martí Rosas i Casals (Universidad Politécnica de Catalunya), por habernos asesorado en el procesamiento de datos. La investigación expuesta en este trabajo se ha realizado al amparo de los proyectos "Arqueología del Grupo Argárico. Producción y política en el sudeste de la península Ibérica (2250 – 1500 antes de nuestra era)" (Ministerio de Educación y Ciencia, código HUM2006-04610), y *Grup d'Arqueoecologia Social Mediterrània (Direcció General de Recerca de la Generalitat de Catalunya,* código 2005SGR01025).

BIBLIOGRAFÍA

BAUDAIS, D. y LUNDSTRÖM-BAUDAIS, K. 2002 : "Enquête ethnoarchéologique dans un village du nord-ouest du Nápal: les instruments de mouture et de broyage". En R. Treuil y H. Procopiou (eds.): *Mouldre et Broyer.* Publicacions du C.R.N.S. Paris: 155-180.

BROZ, M.E. 2006: "Microhardness, toughness and modulus of Mohs scale minerals". *American Mineralogists* 91: 135-142.

DELGADO RAACK, S. 2008: *Prácticas económicas y gestión social de recursos técnicos en la Prehistoria Reciente (III-I milenio AC) del Mediterráneo Occidental.* Tesis Doctoral de la Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.

ESBERT, R.M.; ORDAZ, J.; ALONSO, F.J. y MONTOTO, M. 1997: *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos.* Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

HALLING, J. (ed.) 1975: *Principles of tribology.* MacMillan. Londres.

HAYDEN, B. (ed.) 1987: *Lithic studies among the contemporary Highland Maya.* University of Arizona Press. Arizona.

MARX, K. 1962/1867: *Das Kapital - Erster Band.* Dietz Verlag. Berlin.

MENASANCH, M.; RISCH, R. y SOLDEVILLA, J.A. 2002: "Las tecnologías del procesado de cereal en el sudeste de la Península Ibérica durante el III y II milenio ANE". En R. Treuil y H. Procopiou (eds.): *Mouldre et Broyer*. Publicacions du C.R.N.S. Paris: 81-110.

MONTOTO, M. 2003: *Petrophysics at the rock matrix scale: hydraulic properties and petrographic interpretation.* Publicaciones técnicas, 11. Enresa.

RISCH, R. 1995: *Recursos naturales y sistemas de producción en el Sudeste de la Península Ibérica entre 3000 y 1000 ANE*. Tesis Doctoral de la Universidad Autónoma de Barcelona, Ed. Microfotográfica. Bellaterra.

RISCH, R. 2002: *Recursos naturales, medios de producción y explotación social. Un análisis económico de la inudustria lítica de Fuente Álamo (Almería), 2250-1400 antes de nuestra era.* Iberia Archaeologica 3. Mainz, P. von Zabern.

RISCH, R. 2003: "Los artefactos macrolíticos del yacimiento talayótico y postalayótico de Son Ferragut (Sineu, Mallorca)". En P. Castro, T. Escoriza y M.-E. Sanahuja (eds.): *Mujeres y hombres en espacios domésticos: trabajo y vida social en la Prehistoria de Mallorca (c. 700-500 cal ANE).* B.A.R. International Series 1162. Oxford: 306-319.

SCHNEIDER, J. 2002: "Milling tool design, stone textures and function". En R. Treuil y H. Procopiou (eds.): *Mouldre et Broyer.* Publicacions du C.R.N.S. Paris: 31-53.

SCHOUMACKER, A. 1993: "Apports de de la technologie et de la pétro graphie pour la caractérisation des meules", en *Traces at fonction: les gestes retrouvés. Colloque international de Liège,* Eraul, vol. 50: 165-176.

WILLIAMS-THORPE, O. 1988: "Provenancing and archaeology of Roman millstones from the Mediterranean area". *Journal of Archaeological Sciences* 15: 253-305.

WILLIAMS-THORPE, O. y THORPE, R.S. 1993: "Geochemistry and trade of Eastern Mediterranean Millstones from the Neolithic to Roman periods". *Journal of Archaeological Science* 20: 263-320.

WRIGHT, M.K. 1993: "Simulated use of experimental maize grinding tools from southwestern Colorado". *Kiva* 58: 345-355.

CARACTERIZACIÓN Y GESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN LOS ASENTAMIENTOS PLEISTOCENOS AL AIRE LIBRE DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS)

RAW STONE MATERIAL SUPPLY FOR UPPER PLEISTOCENE OPEN AIR SITES IN SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS, SPAIN)

MARTA NAVAZO[1]; ALVARO COLINA[2]; SALVADOR DOMÍNGUEZ[3], ALFONSO BENITO[4]

(1) Área de Prehistoria. Universidad de Burgos. Edificio I+D+i. Plaza Misael Bañuelos, s/n. 09001 Burgos
(2) Área de Química Analítca. Universidad de Burgos. Fac. de Ciencias. Plaza Misael Bañuelos, s/n. 09001 Burgos
(3) Área de Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Cádiz. Fac. de Ciencias. 11510 Puerto Real
(4) Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid

RESUMEN

En este artículo analizamos 415 muestras de sílex natural y arqueológico de la Sierra de Atapuerca (Burgos) mediante microscopia, espectrometría de masas y difracción de Rayos X con el objetivo de caracterizar los sílex de diferente formación existentes en la zona (neógeno y cretácico), inferir su ambiente genético y conocer las fuentes de aprovisionamiento de los cazadores-recolectores que explotan este espacio durante el Pleistoceno superior. Además se crea un modelo estadístico de clasificación mediante análisis discriminante lineal, *support vector machines* y *k-nearest neighbour* que nos permite diferenciar los sílex en función de su edad de formación.

ABSTRACT

Microscopy, mass spectrometry and X-ray diffraction methods were used to analyse 415 samples of natural and archaeological flint from Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) in order to characterize the different types from Neogene and Cretaceous formations in the study area, infer their genetic context and ascertain the supply sources used by hunter-gatherers who exploited this area in the Upper Pleistocene. A statistical classification model was also designed using linear discriminatory analysis, support vector machines and k-nearest neighbour which permitted the differentiation of the flint based on their age of formation.

Palabras clave: sílex, Sierra de Atapuerca, Paleolítico medio, neógeno, cretácico, microscopía, ICPMS, XRD, áreas de captación.

Key words: *flint, Sierra de Atapuerca, Middle Palaeolithic, Neogene, Cretaceous, microscopy, ICP-MS, XRD, capture areas.*

I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de análisis utilizadas en petrología resultan imprescindibles para caracterizar los materiales líticos, permitiendo su comparación, el estudio de su distribución regional y el reconocimiento de las fuentes (Lazareth & Mercier, 1999). Además de las técnicas clásicas, como la caracterización macroscópica y la microscópica, aparecen en los años 80 una diversidad de técnicas (activación neutrónica, fluorescencia de Rayos X, etc.), de entre las cuales el ICP asiste a un existoso desarrollo (Potts, 1998), que lo hizo rápidamente ser utilizado en el marco de los estudios que se referían al sílex ya que puede considerarse la técnica más adecuada para el control analítico de muestras geológicas y arqueológicas (Bressy, 2003).

Durante los últimos años, la aplicación de la espectrometría de masas como técnica para la caracterización de materiales geológicos (Perkins *et al.,* 1993) y arqueológicos (Tykot, 1997) ha aumentado. Estudios recientes muestran el interés del ICP-MS en la determinación de elementos raros, y se utilizan para caracterizar los materiales arqueológicos, mediante la disolución de muestras (Gratuze *et al.,* 1993; Tykot & Young, 1996).

En este artículo estudiamos el aprovisionamiento de materias primas de los grupos de cazadores-recolectores de la Sierra de Atapuerca (Burgos) en un espacio explotado de 314 km^2 y proponemos un modelo de estudio a escala regional de los diferentes afloramientos de sílex y materiales arqueológicos a través de tres técnicas: observación microscópica, ICP-MS y difracción de Rayos X, con el fin de conocer la organización de estos grupos dentro del territorio que ocupan. Además se crea un modelo estadístico que permite diferenciar los sílex de diferente formación (neógeno y cretácico) existentes en la zona.

II. CONTEXTO GEOLÓGICO Y ARQUEOLÓGICO

El área de estudio se localiza en el sector nororiental de la Cuenca cenozoica del Duero, desarrollado entre las cadenas alpinas de la Codillera Ibérica (Sierra de la Demanda) y la Cordillera Cantábrica (Sierra de Ubierna y Sierra del Buezo) (Figura 1). En este marco geológico se ubica la Sierra de Atapuerca, constituyendo un relieve positivo de tipo *mont,* formado por una anticlinal tumbado de dirección NNW-SSE que deforma los materiales mesozoicos, en su mayoría calizas y dolomías del Turoniense-Santoniense inferior (Pineda, 1997).

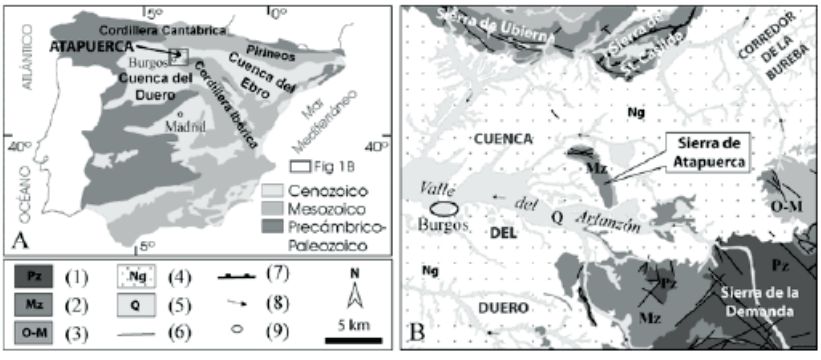


Figura 1. Situación geológica de la Sierra de Atapuerca en el contexto de la Península Ibérica (A), y en el sector NE de la Cuenca del Duero (B).

Leyenda: 1) Paleozoico; 2) Mesozoico; 3) Oligoceno-Mioceno inferior; 4) Neógeno; 5) Cuaternario; 6) Fallas; 7) Cabalgamientos; 8) Dirección de drenaje; 9) Ciudades.

Este afloramiento mesozoico se encuentra rodeado discordantemente por los depósitos de la Cuenca cenozoica del Duero (Santisteban *et al.,* 1996; Alonso-Gavilán *et al.,* 2004), relacionados con el desarrollo de superficies de erosión en los relieves alpinos (Benito-Calvo y Pérez-González, 2007). Los sedimentos cenozoicos corresponden principalmente a la secuencia neógena, constituida por de sedimentos aluviales y lacustres que en el Mioceno medio incluyen un nivel de calizas con nódulos métricos de sílex (Pineda,

1997; Benito, 2004). Dicha secuencia se encuentra erosionada por la red fluvial actual (río Arlanzón y tributarios), cuya incisión ha dejado una secuencia de terrazas compuesta por 14 niveles más la llanura aluvial actual, distribuidas desde el Pleistoceno inferior hasta la actualidad (Benito-Calvo *et al.,* 2007).

La evolución de los niveles de base neógenos y cuaternarios provocó el origen y desarrollo de un sistema endokárstico de origen freático, ubicado en las calizas cretácicas del flanco sudoeste de la Sierra de Atapuerca (Ortega *et al.,* 2005), donde han sido recuperados restos de Homo antecessor (Carbonell *et al.,* 1995) y *Homo heidelbergensis* (Arsuaga *et al.,* 1999). Cronológicamente están representados el Pleistoceno inferior (Gran Dolina y la Sima del Elefante), Pleistoceno medio (Gran Dolina y Galería), y Holoceno (Cueva del Mirador). Sin embargo, en las cuevas en las que se trabaja actualmente, no se han encontrado restos de neandertal o cronologías del Pleistoceno superior final. Por este motivo y para saber cómo articulan el espacio que explotan en esta sierra los cazadores-recolectores que la habitaron, se decidió realizar una prospección arqueológica de cobertura total y alta intensidad, que cubriera una extensión circular —con su punto central en las cuevas— de 314 km^2 (Navazo y Díez, 2001). El trabajo de campo se desarrolló desde 1999 hasta 2003 y se localizaron 181 asentamientos prehistóricos al aire libre desconocidos hasta el momento. De estos sitios, 31 pertenecen al Paleolítico medio, y son los que se han seleccionado para su investigación (Díez y Navazo, 2005). Cada uno de ellos se ha estudiado desde un punto de vista geoarqueológico y se ha analizado la industria lítica, en ocho se han realizado sondeos y dos están siendo excavados en la actualidad, teniendo dataciones por TL de uno de ellos, Hundidero (Benito *et al.,* 2005) (Nivel 2: 58,788±4,904 ka; Nivel 4: 70,556±11,011).

Desde un punto de vista tecno-económico, para estudiar los desplazamientos de los grupos además de analizar el comportamiento técnico, hay que estudiar al abastecimiento de materias primas. A continuación presentamos la metodología y resultados de los análisis que hemos realizado para conocer las áreas de abastecimiento de sílex para los habitantes de la Sierra de Atapuerca y su entorno.

III. MATERIAL Y MÉTODO

En este trabajo, hemos creado una metodología que se ha desarrollado en los siguientes puntos:

III.1. Prospección para la localización de sílex

El primer paso consiste en la localización y muestreo de los afloramientos y depósitos secundarios de sílex existentes en nuestra zona de estudio. De esta manera se han distinguido dos tipos de sílex, asociados a dos formaciones geológicas: una capa de caliza lacustre del Mioceno medio (Astariciense), y calizas y dolomías marinas del Cretácico superior (Turoniense-Santoniense inferior).

III.2. Identificación y caracterización petrológica de los materiales geológicos y arqueológicos

La identificación y caracterización petrológica de los materiales geológicos y arqueológicos se ha realizado mediante análisis de microscopía, con un microscopio de luz reflejada, y análisis geoquímicos como espectrometrometría de masas (ICPMS), y difracción de Rayos X.

La determinación de minerales con microscopio de luz reflejada se realizó en el Área de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias de Puerto Real (Cádiz) sobre 15 muestras procedentes de afloramientos; 5 de depósitos secundarios y 31 piezas arqueológicas. La metodología empleada ha sido la preparación de las muestras en lámina delgada. Estas son secciones finas de rocas o minerales montadas sobre portaobjetos de vidrio (Jones, 1987; Pozo *et al.,* 2004). En una lámina delgada, la muestra original se ha adelgazado hasta alcanzar un grosor estandarizado de 0,03 mm. Una vez preparadas las muestras se analizan con un microscopio polarizante o petrográfico. Se utilizó con luz polarizada plana (luz PP), y con luz polarizada cruzada (XP).

Con el ICPMS del Parque Científico y Tecnológico de la Universidad de Burgos, se analizaron un total de 104 muestras de sílex procedentes de los afloramientos, 116 muestras geológicas de depósitos secundarios, y 135 arqueológicas. Se intenta recuperar muestras de cada una de las zonas en donde afloran las calizas astaricienses que contienen el sílex neógeno, y de las calizas y dolomías de Turoniense-Santoniense inferior, que albergan los nódulos de sílex cretácico (Figura 2).

La gran sensibilidad de nuestro equipo, unido a su bajo límite de detección para la mayoría de los elementos de la tabla periódica, permite realizar análisis con muestras muy pequeñas. Por ejemplo, en el presente trabajo las muestras utilizadas han pesado en todos los casos entre 0,0120 y 0,0170 mg, es decir, es una técnica muy poco destructiva. El equipo utilizado ha sido un Agilent 7500 i, con recirculador de agua de nesslab y muestreador automático. Se midieron 67 elementos. Las muestras se disolvieron en mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, siendo neutralizado el ácido fluorhídrico con ácido bórico saturado con el fin de que no se produzca el ataque del equipo de ICP-MS con el HF.

La gran cantidad de elementos medidos en cada muestra hace necesario el uso de herramientas estadísticas para el análisis de los resultados. Aunque en ocasiones la evolución de una sola variable (análisis univariante) puede ser suficiente para clasificar muestras de diferente procedencia geográfica o temporal, en el caso de nuestras muestras se hace necesario el empleo de herramientas multivariantes. La diferenciación de sílex de diferentes asentamientos de procedencia geográfica muy lejana puede resultar bastante sencillo y unos pocos elementos pueden ser suficientes para realizar la clasificación, pero cuando, como en nuestro caso, la proximidad geográfica de las muestras es evidente, deben considerarse todos los elementos medidos para realizar la clasificación de las muestras y, por lo tanto, debemos utilizar métodos multivariantes para extraer la información contenida por las muestras.

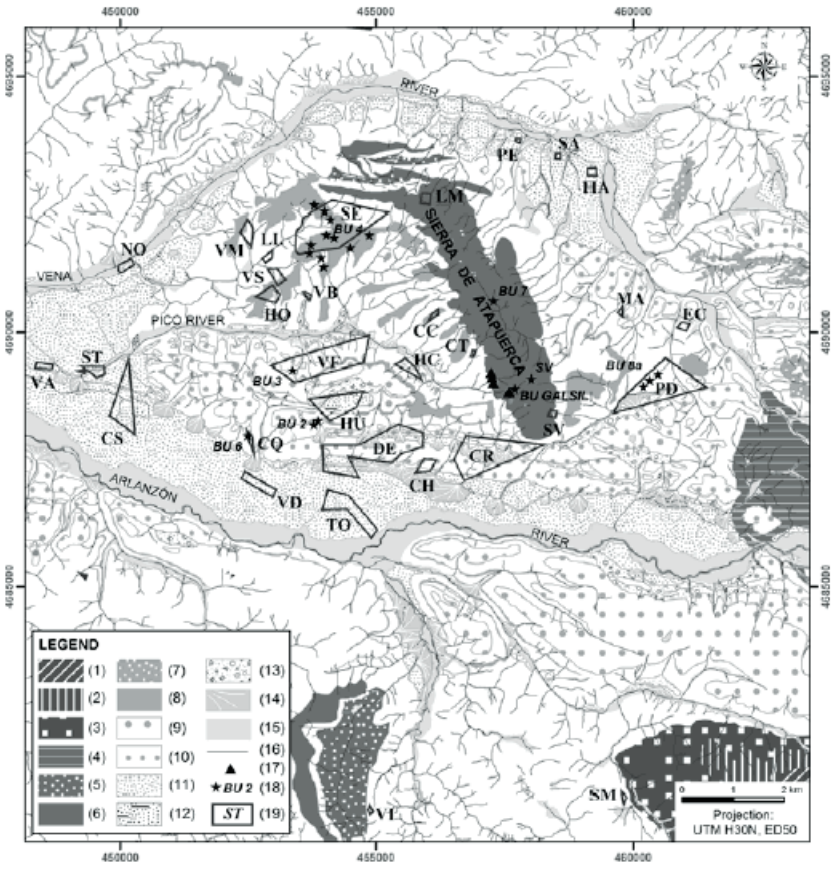


Figura 2. Mapa geomorfológico de la zona de estudio. Leyenda: 1) Cámbrico (metareniscas y pizarras; 2) Carbonífero (conglomerados, areniscas y pizarras); 3) Triásico (conglomerados y areniscas); 4) Cretácico inferior (calizas y conglomerados de cuarcita); 5) Sedimentos detríticos siliciclásticos del Cretácico inferior; 6) Cretácico superior (calizas y dolomías); 7) Sedimentos del Mioceno medio con conglomerados cuarcíticos; 8) Calizas del Mioceno medio con nódulos de sílex; 9) Terrazas del Pleistoceno inferior; 10) Terrazas del Pleistoceno medio; 11) Terrazas del Pleistoceno superior; 12) Depósitos aluviales de Hundidero; 13) Coluviones; 14) Conos; 15) Llanura de inundación y fondos de valle de valle; 16) Red de drenaje; 17) Asentamientos en cueva de la Sierra de Atapuerca; 18) Muestreo afloramientos de sílex; 19) Asentamientos al aire libre de Paleolítico medio.

En principio los datos se han recopilado en una única matriz que contiene en cada fila una muestra y en las columnas la respuesta del detector (Cuentas) para cada uno de los 67 elementos medidos excepto el silicio debido a su alta volatilidad en presencia de ácido fluorhídrico. La respuesta de cada muestra ha sido normalizada dividiendo por el número total de cuentas para todos los elementos, de modo que eliminamos la influencia de la cantidad de piedra disuelta.

La difracción de Rayos X se utilizó como complemento en la identificación de minerales y del análisis petrográfico. Se han realizado, también en Puerto Real, difractogramas de Rayos X, mediante el método de polvo policristalino, triturando y tamizando muestras de sílex, tanto de origen geológico como arqueológico. Las muestras molidas se colocaron en un portamuestras y se introdujeron en el difractómetro de Rayos X donde se someten a la acción de la radiación que incide de forma continua con distintos ángulos. El análisis mediante difracción de Rayos X se ha realizado sobre nueve muestras de las estudiadas con lámina delgada y con ICP-MS. Los difractogramas se procesaron con el paquete de programas Diffract-Plus y Eva, ambos de Bruker.

IV. RESULTADOS

IV.1. Muestreo y cartografía del sílex de la zona de estudio

Una vez localizados los afloramientos y depósitos secundarios de sílex neógeno y cretácico, hemos cartografiado y muestreado cada uno de ellos para su posterior análisis (Figura 2).

IV.2. Caracterización sílex natural

Realizados los muestreos del sílex neógeno y cretácico del espacio objeto de estudio, se caracteriza el material según las analíticas ya mencionadas. Se trabaja con sílex procedentes tanto de los afloramientos como de los depósitos secundarios.

IV.2.1. Sílex neógeno

Los afloramientos de sílex neógeno consisten en nódulos de tamaño métrico. La capa caliza aparece en las plataformas estructurales. Los procesos de erosión son los causantes de la existencia de depósitos secundarios de sílex, relacionados con procesos gravitacionales y aluviales. En este último caso, el sílex aparece en terrazas fluviales pleistocenas y holocenas, en abanicos aluviales, etc.

Por lo que se refiere a los sílex en depósitos secundarios, hemos diferenciado entre:

1. Depósitos secundarios cercanos al afloramiento (depósitos de vertiente): Aquellos que proceden de la erosión inmediata del afloramiento, debido principalmente a procesos gravitacionales (Plataforma VR, Valdefrades, Castrillo del Val).
2. Depósitos secundarios distantes al afloramiento (depósitos fluviales): Es el caso de la mayoría de los sílex encontrados en terraza, procedentes de la erosión directa de la capa caliza astaraciense, o del desmantelamiento de antiguas terrazas y depósitos cuaternarios que ya contenían sílex erosionado.

IV.2.1.1. Análisis microscópico: Se trata de un sílex muy heterogéneo, poroso sobre todo en las zonas de córtex; en general con cierta cantidad de yeso, que suele tener morfología lenticular (Figura 3 izda); estas

lentículas pueden estar silicificadas en mayor o menor grado. Ocasionalmente pueden aparecer impurezas de pequeño tamaño de grano de terrígenos o pequeñas formas concéntricas fibroso radiadas (esférulos) de minerales opacos, posiblemente pirita u óxidos de Fe. Presencia de algunos poros rellenos con cemento de calcita esparítica.

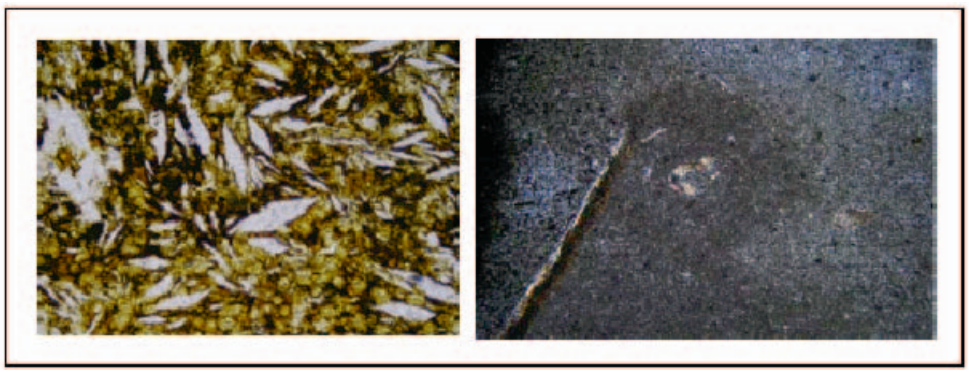


Figura 3. Detalle de lentículas PP 100 (BU8c) (izda) y BU 7c XP 100 en la que se aprecia un fósil (dcha).

IV.2.1.2. Análisis geoquímicos: La tabla 1 (izda) recoge los análisis mediante ICP-MS de las muestras neógenas. Los elementos mayoritarios de la muestra, silicio y oxígeno, no se recogen en la tabla. Las cuentas registradas por el espectrómetro para cada elemento han sido normalizadas con fines comparativos dividiendo su valor entre la suma de las cuentas totales de todos los elementos. La tabla muestra los valores de las cuentas normalizadas medias, medianas, máximas y mínimas. Como puede observarse, el elemento mayoritario es el aluminio, seguido por el sodio, potasio, magnesio, y calcio.

Difracción de Rayos X: Podemos caracterizar el sílex neógeno como sílex con cuarzo y ciertas cantidades de moganita, un polimorfo del SiO2, (Kingma y Hemley, 1994) que aparece en ciertos ambientes sedimentarios (Bustillo y García, 2001). Estos resultados (Figura 4) son perfectamente concordantes con las observaciones hechas mediante microscopía óptica de luz transmitida.

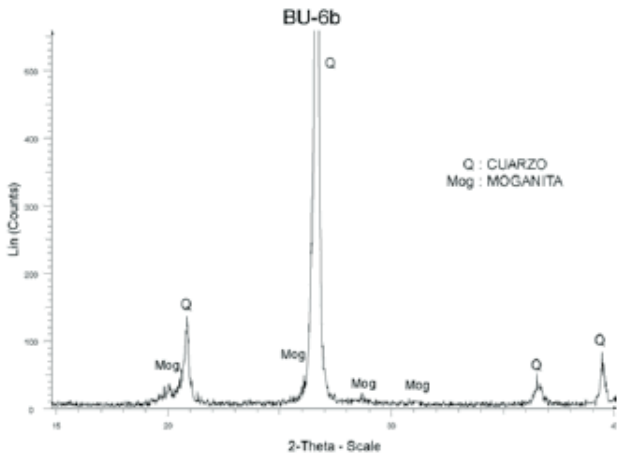


Figura 4. Espectro de difracción de Rayos X de la muestra de Camino Quintanilla (BU 6b).

	SÍLEX NEÓGENO				SÍLEX CRETÁCICO			
Elemento	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Mínimo
Na	1.6E-01	1.4E-01	4.2E-01	2.2E-02	1.6E-01	1.7E-01	2.2E-01	3.7E-02
Mg	1.0E-01	4.8E-02	8.6E-01	6.6E-03	2.3E-02	1.8E-02	1.3E-01	5.5E-03
Al	4.4E-01	4.8E-01	8.3E-01	7.6E-03	5.2E-01	5.7E-01	6.5E-01	1.6E-01
K	1.1E-01	9.7E-02	2.8E-01	3.7E-03	1.3E-01	1.4E-01	2.2E-01	3.6E-02
Ca	8.5E-02	7.7E-02	5.3E-01	7.4E-03	1.0E-01	3.7E-02	6.5E-01	1.0E-02
Sc	2.4E-02	2.3E-02	6.6E-02	6.1E-04	1.0E-02	9.7E-03	2.4E-02	1.9E-03
Ti	4.1E-03	3.7E-03	1.2E-02	1.3E-04	1.6E-03	1.5E-03	3.6E-03	4.2E-04
V	3.4E-02	8.3E-03	2.1E-01	2.4E-04	1.2E-02	5.9E-03	5.1E-02	1.3E-03
Mn	7.3E-03	2.2E-03	8.7E-02	5.2E-04	3.5E-02	2.1E-03	4.6E-01	2.5E-04
Ni	1.6E-04	1.2E-04	1.7E-03	7.7E-06	1.3E-04	8.5E-05	7.9E-04	2.3E-05
Cu	4.0E-04	1.9E-04	4.7E-03	2.9E-05	2.3E-03	2.0E-04	3.8E-02	1.5E-05
Zn	2.1E-03	1.7E-03	7.7E-03	7.1E-05	9.7E-04	6.6E-04	2.6E-03	1.3E-04
Ge	2.2E-04	2.0E-04	1.3E-03	6.1E-06	7.1E-05	6.5E-05	1.8E-04	6.7E-06
As	7.8E-05	4.1E-05	8.0E-04	1.3E-06	3.5E-05	2.2E-05	1.2E-04	6.8E-06
Se	3.7E-05	2.3E-05	1.7E-04	2.4E-06	1.5E-05	1.1E-05	5.0E-05	2.7E-06
Rb	1.1E-04	8.0E-05	8.4E-04	3.3E-06	2.1E-04	1.8E-04	4.7E-04	4.5E-05
Sr	1.3E-02	3.7E-03	4.4E-01	3.5E-04	2.7E-03	1.7E-03	2.1E-02	3.4E-04
Y	1.5E-04	7.3E-05	3.1E-03	2.6E-06	6.2E-05	5.2E-05	3.0E-04	1.2E-05
Ru	2.6E-05	3.4E-06	1.7E-04	0.0E+00	7.9E-06	1.7E-06	4.5E-05	0.0E+00
Sn	8.5E-05	5.0E-05	4.7E-04	3.5E-06	4.2E-05	2.9E-05	1.7E-04	2.7E-06
Sb	1.0E-04	5.3E-05	1.0E-03	1.6E-06	2.6E-05	1.7E-05	1.6E-04	2.3E-06
Cs	1.4E-05	7.1E-06	8.7E-05	3.1E-07	2.1E-05	1.4E-05	7.4E-05	3.7E-06
Ba	7.2E-03	1.6E-03	2.0E-01	9.3E-05	1.3E-03	1.2E-03	3.3E-03	2.0E-04
La	1.9E-04	6.3E-05	5.1E-03	3.3E-06	9.0E-05	7.1E-05	3.0E-04	9.3E-06
Pr	5.5E-05	1.9E-05	2.0E-03	8.7E-07	2.7E-05	1.8E-05	9.6E-05	3.0E-06
Nd	3.4E-05	1.2E-05	1.3E-03	5.0E-07	2.0E-05	1.2E-05	8.1E-05	2.2E-06
Hg	4.6E-05	2.9E-05	2.7E-04	2.2E-06	2.0E-05	1.5E-05	6.9E-05	1.3E-06
Bi	1.6E-05	1.1E-05	8.4E-05	1.9E-07	5.3E-06	1.5E-06	2.4E-05	3.0E-07
Th	3.3E-05	1.7E-05	2.6E-04	2.6E-07	1.2E-05	1.8E-06	1.2E-04	1.3E-07
U	1.1E-02	4.6E-03	1.2E-01	2.6E-04	1.4E-03	3.5E-04	1.6E-02	4.5E-05

Tabla 1. Composición de las muestras de sílex neógeno (izda) y cretácico (dcha) mediante ICP-MS.

IV.2.2. Sílex cretácico

El sílex cretácico se documenta en la superficie más alta de la Sierra de Atapuerca. Este altiplano se corresponde a una superficie de erosión intraterciaria (Benito-Calvo y Pérez-González, 2007). Otro afloramiento de sílex cretácico se localiza en el interior de la Galería del Sílex (Mallol, 1999). Los depósitos secundarios de este sílex se encuentran en la ladera sur de la Sierra de Atapuerca, debido a procesos gravitacionales y tractivos.

VI.2.2.1. Análisis microscópico: Se trata de un sílex masivo, poco poroso y con cristales de pequeño tamaño. Es de grano fino, con pequeñas inclusiones de opacos, restos de fósiles (crinoides) (Figura 3 dcha), y alguna zona recristalizada con cuarzo policristalino.

IV.2.2.2. Análisis geoquímicos: La tabla 1 (dcha) recoge los análisis de las muestras cretácicas realizados mediante ICP-MS. De nuevo se recogen los valores de las cuentas normalizadas medias, medianas, máximas y mínimas. La composición de los sílex neógenos y cretácicos es bastante parecida. Si excluimos la sílice, el elemento mayoritario en los sílex es el aluminio, seguido del sodio, potasio y calcio.

El manganeso aparece en mayor proporción en valores medios debido a las muestras de Galería del Sílex, y por lo tanto, la proporción de este elemento en valores medianos es menor. A primera vista, la composición de ambos tipos de muestras no permite su separación y clasificación en grupos diferentes. Como se verá más adelante, mediante tratamiento estadístico ambos tipos de muestras pueden ser clasificadas correctamente basándonos en su composición.

Difracción de Rayos X: Se trata de sílex con presencia exclusiva de cuarzo como fase mineral dominante (Figura 5).

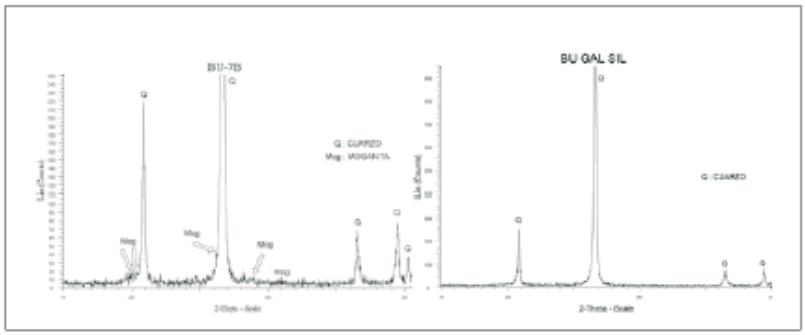


Figura 5. Espectros de difracción de Rayos X de la muestra del Valle de las Orquídeas (BU 7b) (izqda) y de la muestra de la Galería del Sílex (BU GALSIL) (dcha).

IV.3. Caracterización sílex arqueológico

La materia prima más utilizada en los 31 asentamientos estudiados es el sílex neógeno. Las piezas arqueológicas de sílex, neógenos y cretácicos, presentan la misma caracterización que los geológicos con las siguientes salvedades:

- En Valdemazo (VM) no se ve casi ninguna lentícula y se presenta muy fresco. Esto puede significar que los que tienen más yeso se alteran más rápido.
- En Vega de Abajo (VD) se observan algunos poros rellenos de carbonato, y lentículas muy grandes sustituidas por calcita.
- El sílex neógeno de Santillana (SA) no presenta ni lentículas ni esferulitos, siendo el material menos parecido al resto, lo que pudiera indicar que o es un material alóctono, o bien se trata de un depósito secundario poco agregado o de baja densidad. Esta segunda opción parece más probable, ya que el escaso material natural ha sido recuperado sobre la terraza en la que se localiza el asentamiento.

IV.4. Contrastación de los datos

La caracterización de los sílex arqueológicos mediante los análisis microscópicos y geoquímicos revela una captación de materia prima local.

El análisis microscópico nos permite diferenciar las dos variedades de sílex:

- Sílex neógeno que presenta, en general, una anisotropía en sus texturas, con multitud de sombras de cristales lenticulares, de tamaños variables entre 0'10 y 1 mm., que se corresponderían con cristales de yeso que han sido silicificados.
- Sílex cretácico que presenta generalmente unas texturas homogéneas, microcristalinas y con restos de fósiles (bioclastos), muy fragmentados y no identificables.

Muestras particularmente interesantes son las que presentan una mayor proporción de Mn en su composición. Tres sitios arqueológicos como son Valaña Bajera (VB), Los Pedernales (PD) y El Charco (CH) y un afloramiento en cueva, Galería del Sílex (Figura 2), presentan este elemento en su composición. Planteamos la hipótesis de que puede deberse a la situación de estos sitios ya que el sílex de Valaña Bajera, Pedernales y de El Charco puede venir arrastrado por los arroyos que tienen al O el primero, al S y O del segundo y al N el tercero, que nacen ambos en plataformas estructurales. Además sabemos que los óxidos de Mn son frecuentes en suelos húmedos y que están sometidos a repetidos y frecuentes procesos de humectación y desecación, y planteamos en este trabajo la posibilidad de que asociados a estos suelos los sílex absorban manganeso. Es una hipótesis de cara a comprobar con futuros estudios.

IV.5. Métodos de clasificación de los sílex en función de su edad de formación

Con el fin de clasificar los sílex en función de los tipos neógeno y cretácico, se realizaron tratamientos estadísticos con las muestras procedentes de los afloramientos. La clasificación de las muestras a partir de su composición no era posible con métodos no supervisados (análisis mediante componentes principales, clustering). Con estos tipos de técnicas estadísticas no se observaban grupos de muestras relacionados con el tipo de sílex. Sin embargo, la clasificación utilizando métodos supervisados, como análisis discriminante lineal (LDA), *support vector machines* (SVM), o *k-nearest neighbour* (KNN) proporcionaba buenos resultados.

Los métodos de clasificación utilizados en este trabajo permiten trabajar con datos multidimensionales, como son los obtenidos a partir de la composición elemental de las muestras. Las representaciones bidimensionales son fácilmente visualizables pero en muchas ocasiones no proporcionan información sobre el agrupamiento de las muestras. Los datos multidimensionales son difícilmente visualizables pero proporcionan mucha información sobre la separación de los grupos. En los métodos de clasificación multidimensionales, todos los elementos (variables) se utilizan para crear el modelo de clasificación.

La figura 6A muestra el modelo de clasificación obtenido con LDA a partir de las muestras procedentes de afloramientos naturales primarias.

Puede observarse una perfecta clasificación en dos grupos diferentes que está totalmente correlacionada con el tipo de sílex. Similares resultados se alcanzaban con SVM y con KNN. Esto abre una puerta a una fácil clasificación de los sílex. Sin embargo, cuando hemos intentado predecir con el modelo calculado las muestras procedentes de los depósitos secundarios, y sobre todo, las arqueológicas, los resultados son pobres. Esto quiere decir que las muestras procedentes de los afloramientos no son, en principio, representativas de las muestras arqueológicas.

Cuando se ha realizado el modelo partiendo tanto de muestras naturales de afloramientos como secundarias, la separación no es tan prometedora como en el modelo utilizando únicamente las muestras pri-

marias, pero la predicción es mucho mejor. Los resultados de mayor calidad se obtienen con SVM y LDA, siendo peores los resultados obtenidos con KNN.

La figura 6B muestra los grupos neógenos y cretácicos formados a partir de las dos primeras variables discriminantes.

La reducción de variables mediante análisis de la varianza y análisis de correlaciones, de los 66 elementos iniciales a los 30 finales, permite mejorar los resultados (Figura 6C) aunque el modelo no predice con la fiabilidad deseada. Puede observarse que principalmente se produce una rotación de los datos correspondientes al conjunto de entrenamiento del modelo.

Se ha realizado un nuevo modelo seleccionando las muestras más representativas. Para ello se construye un primer modelo, tanto con LDA como con SVM, utilizando las muestras de afloramientos y se predicen las muestras de depósitos secundarios de una en una. Si la predicción de LDA y de SVM coincide, la muestra se introduce en el modelo, construyéndose un nuevo modelo que predice de nuevo otra muestra. Si no existe concordancia entre los métodos de predicción la muestra no se utiliza para construir el modelo. Con esta metodología para la selección de muestras conseguimos una fiabilidad mucho mayor. El modelo final demuestra que una única variable discriminante es suficiente para separar los sílex neógenos de los cretácicos.

El peso de los diferentes elementos en la única variable discriminante lineal muestra que los elementos minoritarios son determinantes en la separación de los grupos neógenos y cretácicos. En particular, Selenio, Cesio y Torio son muy importantes en el grupo neógeno, y el Rubidio parece que tiene mayor importancia en los sílex cretácicos.

El modelo construido con SVM predice correctamente el 94.5% de las muestras. El modelo construido con LDA predice correctamente el 84.4% de las muestras. Una de las características del modelo es que no se producen falsos neógenos aunque sí existen falsos cretácicos. Como puede observarse el modelo SVM es ligeramente mejor.

La misma metodología se intentó para determinar la procedencia de las muestras arqueológicas. De igual modo que hemos visto en la clasificación anterior, el modelo propuesto a partir de las muestras procedentes de los afloramientos separa los diferentes grupos claramente. Pero la predicción no es buena.

Por lo tanto, intentar realizar una predicción de las muestras arqueológicas según su procedencia primaria (afloramiento) o secundaria es una tarea casi imposible a partir de la composición. Hemos realizado un modelo en el que las muestras de los depósitos secundarios iban siendo asignadas a las áreas primarias si coincidía la predicción con SVM y con LDA, entrando a formar parte de un nuevo modelo.

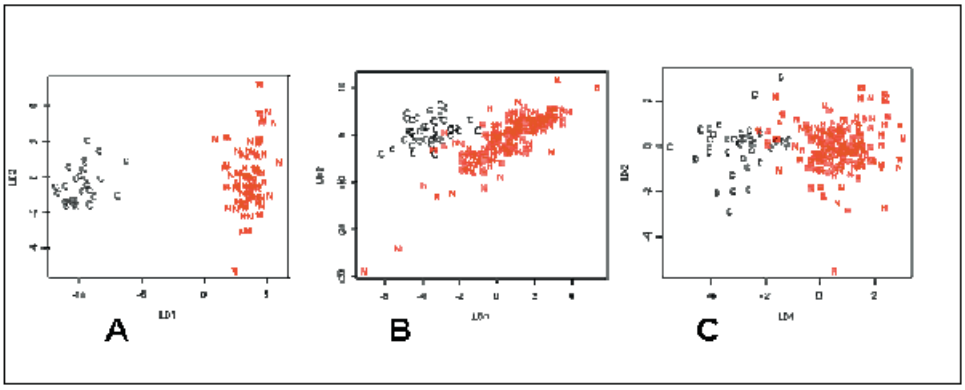


Figura 6. A: Modelo de clasificación LDA de los afloramientos de sílex cretácico (C) y neógeno (N). B: Modelo de clasificación del sílex de afloramientos y depósitos secundarios. C: Modelo de clasificación del sílex mediante análisis de varianza y de correlaciones.

El modelo final viene a predecir que la mayoría de las muestras neógenas tienen su origen en lo que hemos denominado Plataforma VR (Figura 2), que es un afloramiento de sílex neógeno que domina la Sierra de Atapuerca, o en Castrillo del Val que es la misma formación que Plataforma VR. En el caso de las muestras cretácicas la procedencia es el plano de San Vicente o la zona denominada valle de las Orquídeas, que también se trata de la misma formación cretácica.

V. CONCLUSIONES

Del análisis de todos los resultados realizados a lo largo de este trabajo, se pueden deducir una serie de conclusiones sobre clasificación de muestras:

- Las muestras de los depósitos secundarios tienen diferente composición que las de los afloramientos aun cuando provengan de ellos. Los procesos geomorfológicos y edáficos sufridos por el sílex con el paso del tiempo, una vez disgregados de la formación primaria, implican un cambio de su composición.
- Por lo tanto, las piezas arqueológicas han experimentado también ese cambio de composición a lo largo del tiempo, lo que dificulta su clasificación. No se pueden clasificar correctamente utilizando solamente afloramientos.
- Las piezas arqueológicas encontradas donde existen depósitos secundarios de sílex, generalmente, se parecen mucho en composición a éstas últimas.
- Además de la localización geográfica de las piezas, la historia de la pieza, es decir, los procesos geomorfológicos y edáficos con el paso del tiempo son una variable fundamental a la hora de intentar predecir más exactamente la procedencia de las muestras arqueológicas.
- El análisis discriminante lineal de los sílex en función de su procedencia de afloramientos o áreas de captación primaria, depósitos secundarios o arqueológicas, muestra que, aunque obviamente no se pueden separar, si que existe una cierta tendencia a su diferenciación, que únicamente puede ser debida al entorno geológico en el que ha estado situada la muestra a lo largo de la historia.
- Hemos visto que las diferencias más claras entre el sílex neógeno y cretácico son las de tipo textural, además de que se puede considerar como criterio diferenciador la cantidad de moganita presente en las muestras, que en los neógenos es muy superior a la que aparece en los cretácicos. La moganita es imposible de caracterizar mediante microscopia ya que no tiene ni texturas ni formas de aparición precisas, y además se asemeja totalmente a las texturas microcristalinas y fibrosas del cuarzo (calcedonias) (Bustillo y García, 2001).
- La moganita y el cuarzo comparten los picos más intensos en los difractogramas que hemos presentado en las figuras 4 y 6. Debido a la pequeña proporción en la que aparece con respecto al cuarzo, la moganita siempre queda enmascarada por el cuarzo. Cuando aparece en proporciones pequeñas, como en nuestro caso, la identificación es difícil y la cuantificación con difracción sólo es posible con el refinamiento de Rietvel (Heaney y Post, 1992).
- El parecido entre las muestras de afloramientos y de los depósitos secundarios, demostrado por las analíticas, sumado a las observaciones de campo nos permiten concluir que en 27 de los 31 asentamientos arqueológicos aparece materia prima (sílex casi siempre) en el mismo sitio de la ocupación. Sin embargo, en cuatro sitios no se ha documentado la fuente de captación, San Vicente, Las Machorras, Viborita (en Viborita no aparece sílex neógeno en las inmediaciones del sitio, sin embargo sílex cretácico sí; utilizándose sólo el primero para la talla) y Salmuera (Figura 2). Las tres primeras se localizan en altiplanos o superficies de erosión, y la cuarta al pie de un sustrato rocoso. Se trata de zonas altas en las que se ha recuperado un escaso conjunto arqueológico.

Aunque en Salmuera la materia prima más utilizada es la cuarcita, que aflora en las inmediaciones del asentamiento, el sílex neógeno es aportado como en los otros tres casos, San Vicente, Las Machorras y Viborita. Cerca de San Vicente, al N, se encuentra el lapiaz en el que aflora sílex cretácico que no se recoge por los visitantes de este lugar, lo que refuerza la idea de que estos lugares fueron frecuentados de manera ocasional, llevando la materia prima sus portadores.

En el resto de los sitios arqueológicos se encuentra la materia prima sobre el propio asentamiento, siendo en la gran mayoría de los casos afloramientos o depósitos secundarios cercanos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Carlos Díez la ayuda prestada para la realización de este trabajo y sus comentarios para mejorarlo; M.N. es becaria postdoctoral de la Cátedra Atapuerca (Fundación Atapuerca-Fundación Duques de Soria). Este artículo se redacta dentro del proyecto de investigación "El Pleistoceno y el Holoceno de la Sierra de Atapuerca: Paleobiología y Paleoeconomía de las poblaciones humanas del Pleistoceno y Holoceno III" CGL2006-13532-C03-03 de la Dirección General de Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia, y del proyecto BU 01-04 "Gestión del territorio en el Paleolítico medio del área centroriental de Castilla y León por medio del estudio de fuentes y productos líticos" de la Consejería de Educación y Cultura de la Junta de Castilla y León.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO-GAVILÁN, G.; ARMENTEROS, I.; CARBALLEIRA, J.; CORROCHANO, A.; HUERTA, P. y RODRÍGUEZ, J.M. 2004: "Cuenca del Duero". En Vera, J.A. (ed.): *Geología de España.* Soc. Geol. España, IGME. Madrid: 550-556.

ARSUAGA, J.L.; LORENZO, C.; CARRETERO, J.M.; GRACIA, A.; MARTÍNEZ, I.; GARCÍA, N.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M. y CARBONELL, E. 1999: "A complete human pelvis from the Middle Pleistocene of Spain". *Nature* 399: 255-258.

BENITO CALVO, A., 2004: *Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valle medio del río Arlanzón.* Tesis Doctoral, Universidad Complutense. Madrid. España. ISBN 84-669-2585-6, 381 pp.

BENITO, A.; CARBONELL, E.; DÍEZ, C.; NAVAZO, M. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2005: "Gestión del territorio y uso del espacio en la Sierra de Atapuerca a través de un asentamiento Pleistoceno al aire libre: Hundidero (Burgos)". *VI Iberian Quaternary meeting: The Iberian Peninsula and its Peopling by Hominids.* (26-28 septiembre 2005). Gibraltar: 102-103.

BENITO-CALVO, A. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2007: "Erosion surfaces and Neogene landscape evolution in the NE Duero Basin (north-central Spain)". *Geomorphology,* 88: 226-241.

BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y PARÉS, J.P. 2007: "Quantitative reconstruction of late Cenozoic landscapes: a case study in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain)". *Earth Surface Processes and Landforms* (In press). DOI: 10.1002/esp.1534.

BEST, M.G. 2003: *Igneous and metamorphic petrology.* 2ª ed. Blackwell. Oxford.

BRESSY, C. 2003: *Caractérisation et gestion du silex des sites mésolithiques et néolithiques du Nord-Ouest de l'arc alpin: une approche pétrographique et géochimique* Archaeopress-BAR. Oxford.

BUSTILLO, M.A. y GARCÍA, R. 2001: "Técnicas de identificación de moganita, un nuevo polimorfo de la sílice de amplia distribución". *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía,* 24-A: 25-26.

CARBONELL, E.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M.; ARSUAGA, J.L.; DÍEZ, J.C.; ROSAS, A.; CUENCA-BESCOS, G.; SALA, R.; MOSQUERA, M. y RODRIGUEZ, X.P. 1995: "Lower Pleistocene Hominids and Artifacts from Atapuerca-TD6 (Spain)". *Science* 269: 826-832.

DÍEZ, J.C. y NAVAZO, M. 2005: "Apuntes sociales y geográficos a partir de los yacimientos del Paleolítico medio en la zona nororiental de la Meseta castellano leonesa". *Monografías 20.* Museo de Altamira. Santander: 39-54

GRATUZE, B.; BARRANDON, J-N.; AL ISA, K. y CAUVIN, M.-C. 1993: "Non-destructive analysis of obsidian artefacts using nuclear techniques. Investigation of provenance Near Eastern artefacts". *Archaeometry* 25 (1): 11-21.

HEANEY, P. y POST, J.E. 1992: "The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varietes". *Science*, 255: 441-443.

JONES, M.P. 1987: *Applied Mineralogy.* Graham & Trotman. 259 pp.

KINGMA, K. y HEMLEY, R. 1994: "Raman spectroscopic study of microcrystalline silica". *American mineralogist,* 79: 269-273.

LAZARETH, C.E. y MERCIER, J.C.C. 1999: "Geochemistry of ballast granites from Brouage and La Rochelle, France: evidence for medieval to post-medieval trade with Falmouth, Cornwall, and Donegal, Ireland". Pollard, A.M. (Ed.): *Geoarchaeology: exploration, environments, resources.* Geological Society. London. Special Publications: 165.

MALLOL, C. 1999: "The selection of lithic raw materials in the Lower and Middle Pleistocene levels TD6 and TD10A of Gran Dolina (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain)". *Journal of Anthropological Research* 55: 385-407.

NAVAZO, M. y DÍEZ, J.C. 2001: "Patrones de asentamiento y uso del territorio en la Sierra de Atapuerca". *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social,* IV: 7-42.

ORTEGA MARTÍNEZ, A.I.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MARTÍN MERINO, M.A; CARRETERO DÍAZ, J.M. y ARSUAGA FERRERAS, J.L. 2005: "El Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo. Un estudio morfológico del endokarst de la Sierra de Atapuerca (Burgos, España)". En M. Santonja y A. Pérez-González (eds): *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el entorno Mediterráneo*: 161- 179.

PERKINS, W.T.; PEARCE, N.J.G. y JEFFREIS, T.E. 1993: "Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: a new technique for the determination of trace and ultra-trace elements in silicates". *Geochemica and Cosmochimica Acta* 57: 475-482.

PINEDA, A., 1997: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000.* Burgos (200). Segunda Serie. Primera Edición. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

POTTS, P.J. 1998: "A perspective of the evolution of geoanalytical techniques for silicate rocks". *Geostandars Newsletter* 22: 57-68.

POZO, M.; GONZÁLEZ, J. y GINER, J. 2004: *Geología práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas.* Pearson. Prentice Hall.

SANTISTEBAN, J.I.; MEDIAVILLA, R.; MARTÍN-SERRANO, A. y DABRIO, C.J. 1996: "The Duero Basin: a general overview". En *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of curstal kinematics.* Friend, P.F. y Dabrio C.J. (Eds). Cambridge University Press. Cambridge: 183-187.

TYKOT, R.H. 1997: "Characterisation of the Monte Arci (Sardinia) obsidian sources". *Journal of Archaeological Science* 24: 467-479.

TYKOT, R.H. y YOUNG, S.M. 1996: "Archaeological applications of inductively coupled plasma-mass spectrometry". Orna, M.V. (Ed) *ACS Symposium Series. Archaeological chemistry. Organic inorganic and biochemical analysis.* American Chemical Society. Washington DC: 116-130.

MATERIAS PRIMAS, ÁREAS DE CAPTACIÓN Y TECNOLOGÍA DE LAS SOCIEDADES DEL PALEOLÍTICO. EL RÍO PALMONES (LOS BARRIOS, CÁDIZ)

RAW MATERIALS, AREAS OF CAPTATION AND TECHNOLOGY OF THE PALAEOLITHIC SOCIETIES. THE RIVER PALMONES (LOS BARRIOS, CADIZ)

VICENTE CASTAÑEDA FERNÁNDEZ[1], SALVADOR DOMÍNGUEZ-BELLA[2]

(1) Área de Prehistoria. Departamento de Historia, Geografía y Filosofía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Cádiz. Avda. Gómez Ulla, s/n. 11003 Cádiz. Grupo HUM-831. E-mail: vicente.castaneda@uca.es
(2) Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz. Grupo HUM-440. E-mail: salvador.domínguez@uca.es

RESUMEN

Este trabajo presenta como objetivo central el estudio de las materias primas minerales seleccionadas para la fabricación de las herramientas de trabajo por las sociedades del Paleolítico que habitaron en las proximidades del río Palmones (Los Barrios, Cádiz). Esta información, unida a la posible localización de sus áreas fuentes, nos permitirá profundizar en la ocupación diferencial del territorio por parte de las sociedades adscritas al modo 2 y al modo 3. Para alcanzar estos objetivos, hemos empleado distintas técnicas analíticas relacionadas con el análisis arqueométrico, tales como la Petrología y la Mineralogía (descripción macroscópica, microscopía óptica de luz polarizada y difracción de Rayos X).

ABSTRACT

This article presents the study of the mineral raw materials selected for tools manufacturing by the societies of the Palaeolithic period who lived in the proximities of the river Palmones (Los Barrios, Cadiz). This information, together with the possible location of their source areas, will allow us to penetrate into the differential occupation of the territory by the societies ascribed to the Mode 2 and to the Mode 3. We have used different analytical techniques related to the archaeometrical analysis, such are Petrology and Mineralogy (macroscopic description, polarized light optical microscopy and X-ray diffraction).

Palabras clave: Paleolítico, Campo de Gibraltar, río Palmones, petrología, mineralogía, materias primas, áreas fuente, microscopía óptica, difracción de Rayos X.

Key words: *Palaeolithic, Campo de Gibraltar, river Palmones, petrology, mineralogy, raw materials, source area, optical microscopy, XRD.*

I. ANTECEDENTES

Nuestra área de estudio se relaciona con el extremo occidental de la Cordillera Bética, en el margen septentrional del Estrecho de Gibraltar, un territorio interesante desde un punto de vista geológico, medioambiental e histórico. Esta zona geográfica, denominada Arco de Gibraltar, emplazado en la provincia de Cádiz, engloba el Campo de Gibraltar y el área sur del Estrecho, presenta una estructura tectónica con forma de arco abierto hacia oriente (Didón, 1969), con estructuras y geología muy similares al norte y al sur del Estrecho (Domínguez-Bella, 2002).

La práctica totalidad de los terrenos que forman la provincia de Cádiz están constituidos por rocas sedimentarias; no existen afloramientos de rocas metamórficas y en el caso de las rocas ígneas, éstas sólo aparecen representadas por pequeños afloramientos de rocas de tipo subvolcánico, las doleritas triásicas (Morata, 1993).

Dentro de las materias primas más abundantes en esta zona del Campo de Gibraltar estarían los materiales silíceos, especialmente areniscas compactas, sílex y radiolaritas (Domínguez-Bella, 2002), todas ellas seleccionadas y transformadas, en mayor o menor medida según los diferentes momentos históricos, por las distintas sociedades del paleolítico.

La Unidad del Aljibe o Manto Numídico es el conjunto de materiales geológicos del Mioceno que describe mejor el Arco de Gibraltar, con muchos pliegues muy característicos en los paisajes del Campo de Gibraltar (Didon, 1969). El término más característico y potente lo constituyen las areniscas del Aljibe, unas areniscas silíceas muy puras, de tamaño de grano medio a grueso. Presentan colores blanquecinos o amarillentos y se encuentran estratificadas en potentes bancos, alternando con niveles arcillosos (Gutiérrez Mas *et al.,* 1991). A veces presentan colores ocres oscuros y rojizos, apareciendo niveles de litologías muy compactadas o silicificadas.

La mayor parte de los sílex que aparecen en la zona provienen de afloramientos del jurásico. Los materiales jurásicos subbéticos están constituidos generalmente por calizas, habitualmente dispuestas sobre los materiales triásicos, por lo general con superficies de contacto por cepillamiento y muy tectonizadas (Martín Algarra, 1987). Estos materiales y los sedimentos derivados de su erosión, suelen ser la fuente de una parte importante de los distintos tipos de sílex y radiolaritas, que han sido explotados en la zona.

Dentro de esta explotación o captación de recursos, podemos encontrar dos tipologías: una explotación de los afloramientos geológicos *in situ,* como ocurre en Montecorto (Málaga), relativamente próximo al Campo de Gibraltar; o bien en depósitos de tipo sedimentario, producto del desmantelamiento erosivo de afloramientos de edad Oligocena tales como Cerro Calderón (Figura 1A) o la Cantera de la Coracha, y transporte de los mismos, como podrían ser las terrazas fluviales del río Palmones (Figura 1B) (Castañeda *et al.,* 2005a; *et al.,* 2005b; Domínguez-Bella *et al.,* 1995 y 2004).

Este trabajo pretende analizar las materias primas seleccionadas en los procesos de transformación y fabricación de las herramientas de trabajo, y la posible localización de sus áreas fuente, de las sociedades del Paleolítico adscritas al modo 2 (Achelense) (Figura 2) y al modo 3 (Musteriense) en el río Palmones (Los Barrios, Cádiz) a partir de los estudios petrológicos. Todo ello para comprobar los cambios en las estrategias de captación y selección de las materias primas minerales observados de una forma diacrónica por parte de las diferentes sociedades del Paleolítico, y como repercuten éstas en las estrategias de fabricación de las herramientas de trabajo.

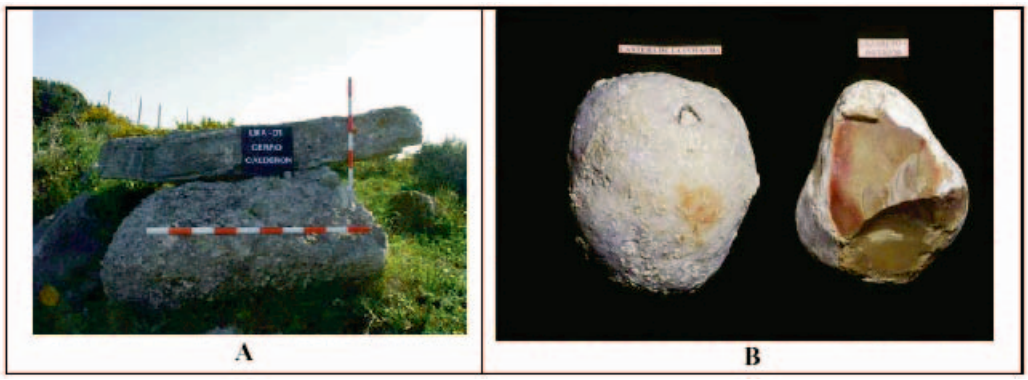


Figura 1. A) Cerro Calderón. Afloramiento de edad Oligocena. B) Nódulo de sílex localizados en el yacimiento de Lazareto 1.

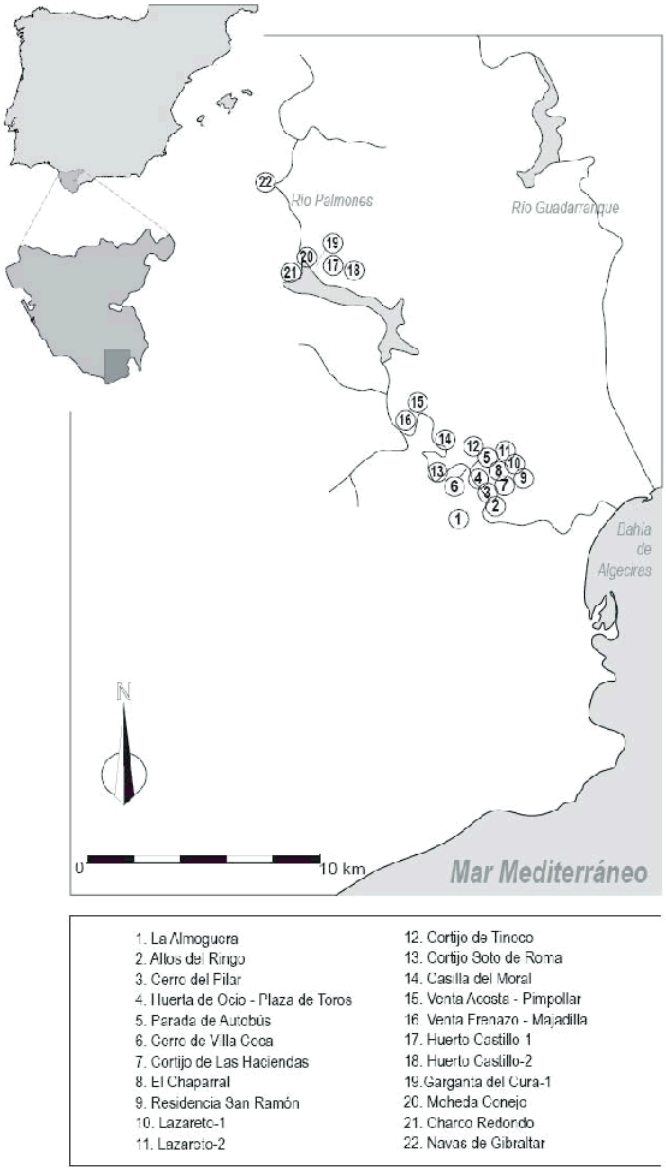


Figura 2. Yacimientos adscritos al modo 2 (Achelense) en el río Palmones.

II. EL RÍO PALMONES Y LAS SOCIEDADES DEL PALEOLÍTICO

Los diferentes afloramientos de terrazas localizados en el cauce del río Palmones han permitido localizar un total de 24 yacimientos arqueológicos adscritos a diferentes momentos del Paleolítico (modo 2 y modo 3) (Figuras 2 y 3), los cuales han sido diferenciados atendiendo a su posición en las distintas terrazas fluviales, que nos ha permitido obtener una primera información diacrónica sobre la ocupación histórica de este territorio.

Figura 3. Yacimientos adscritos al modo 3 (Musteriense) en el río Palmones.

Estos yacimientos se han localizado por medio de prospecciones arqueológicas superficiales, procediéndose posteriormente a la excavación de alguno de ellos. Los materiales localizados, constituidos únicamente por diferentes tipos de roca, han sido estudiados desde una perspectiva petrológica y tecnológica, lo que nos ha permitido obtener información histórica sobre el modo de vida de estas sociedades.

Así, hoy sabemos que eran sociedades que vivían en las proximidades del río Palmones, donde realizaban trabajos cotidianos de manipulación y obtención de alimentos (caza y recolección) (Figura 4), y de materias primas minerales para la fabricación de sus herramientas de trabajo.

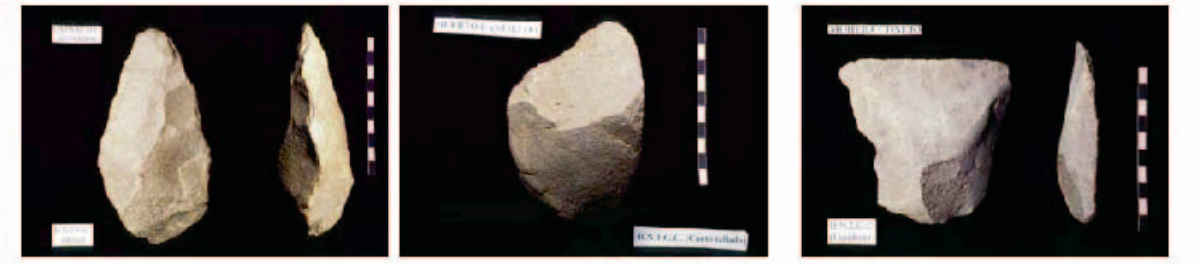


Figura 4. Algunas de las herramientas adscritas al modo 2 (achelenses) analizadas (bifaces, cantos tallados y hendedores), en las que se observa un predominio casi absoluto de la litología en arenisca compacta de edad terciaria.

III. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

La línea de investigación geoarqueológica está siguiendo una metodología destinada a determinar las procedencias de las materias primas seleccionadas en los procesos de transformación y fabricación de las herramientas de trabajo, que consiste en:

1. Determinación de cuáles son los tipos litológicos que aparecen en la zona.
2. Ver si existen actividades de extracción de rocas y minerales usados como materia prima, en el entorno de los yacimientos arqueológicos.
3. Identificación de las posibles fuentes de materias primas líticas en la Prehistoria en el entorno.
4. Selección y toma de muestras geológicas.
5. Elaboración de una base de datos petrológica (litoteca).
6. Caracterización y contrastación mineralógica y petrológica de y entre los materiales geológicos y los materiales arqueológicos (industrias líticas) (microscopía óptica, difracción de Rayos X, FRX y MEB).

Una vez desarrollada esta metodología, se ha podido comprobar cómo las materias primas seleccionadas y utilizadas en la fabricación de las herramientas de trabajo presentan una notable diferencia entre las sociedades del Paleolítico adscritas al modo 2 (achelense) y el modo 3 (musteriense). Se observa, sin embargo, el dominio de las litologías de naturaleza silícea, con sílex masivos, bandeados, brechoides y porosos; además de radiolaritas de varios colores y tonos y de areniscas compactas, también de distintas coloraciones y tamaños de grano (Figura 5).

Figura 5. A) Vista general de diferentes coloraciones de areniscas compactas. B) Vista general de diferentes tipos de sílex compactos, sílex porosos y radiolaritas. Garganta del Cura. Los Barrios.

El estudio mediante técnicas analíticas tales como la microscopía óptica o la difracción y fluorescencia de Rayos X, son de gran interés en esta línea de trabajo (Figura 6).

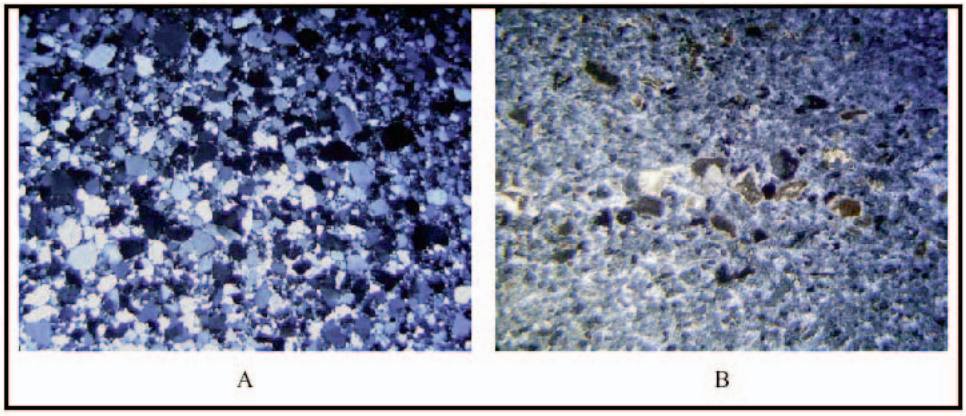


Figura 6. A) Imagen mediante microscopía óptica de una lámina delgada de una arenisca compacta. Río Palmones. Los Barrios; B) Imagen mediante microscopía óptica de una lámina delgada de un sílex masivo, con carbonatos. Río Palmones. Los Barrios. (ancho de la foto = 3 mm.; en ambos casos: luz doblemente polarizada).

En cuanto a la selección de las materias primas; en los yacimientos adscritos al modo 2 (achelense) se constata, como por ejemplo en Lazareto, un dominio de las areniscas compactas y las areniscas del Aljibe, siendo prácticamente el total de las materias primas seleccionadas, con una mínima cantidad de caliza (Figura 7). Éstas son transportadas y seleccionadas por los homínidos en el mismo río Palmones a partir de los cantos rodados localizados dentro de las terrazas fluviales.

Figura 7. Distribución porcentual de litología en los útiles tallados, del yacimiento de Lazareto (Los Barrios, Cádiz).

Una variación porcentual importante, en cuanto a la selección y transformación de las materias primas, se puede observar en los sitios adscritos al modo 3 (musteriense), donde se constata un aumento significativo del sílex y las radiolaritas, frente a las areniscas. Así, en yacimientos como Garganta del Cura, junto a la presencia de las areniscas compactas, las areniscas del Aljibe y las cuarcitas, que no representan en total ni el 25%; nos encontramos las diferentes variedades de sílex y radiolaritas, que representan más del 75% del total (Figura 8).

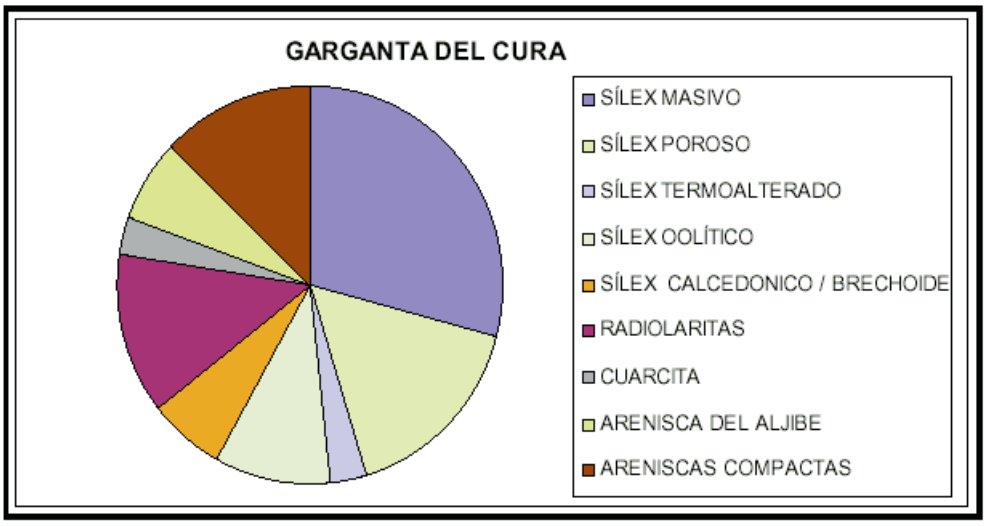


Figura 8. Distribución porcentual de litologías en los útiles tallados, de la Garganta del Cura (Los Barrios, Cádiz).

La procedencia de las distintas variedades de sílex y radiolaritas localizada en los yacimientos adscritos al modo 3 (musteriense) del río Palmones debemos buscarla en los afloramientos de calizas jurásicas del Subbético, y en menor medida en el Peñón de Gibraltar. Para algunos sílex hay que considerar además, la posible procedencia a partir de otros afloramientos, como los del Terciario (Oligoceno) del Campo de Gibraltar, como el de Cerro Calderón o algunos depósitos de terrazas fluviales como los del río Palmones, que contienen cantos rodados de dichos materiales (Castañeda *et al.,* 2005b).

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La gestión de las materias primas ofrece importantes diferencias desde una perspectiva diacrónica a lo largo del Paleolítico. Así, el dominio de los distintos tipos de areniscas a lo largo de las diferentes ocupaciones adscritas al modo 2 es absoluta, tal como se puede comprobar en sitios tales como Lazareto, tan sólo alterado en los momentos finales de este sistema técnico con la presencia, aunque con un carácter ínfimo, del sílex.

A partir de estadio isotópico OIS3, y asociado a las herramientas con sistemas técnicos adscritos al modo 3, se comprueba un incremento progresivo en el empleo de diferentes tipos de sílex y radiolaritas, llegando a alcanzar estos últimos aproximadamente un 75% en yacimientos como la Garganta del Cura.

El río Palmones transporta mayoritariamente distintos tipos de areniscas del Aljibe y areniscas compactas, que corresponden con niveles más silicificados dentro de éstas; de tamaño de grano medio a grueso, mientras que en proporciones ínfimas aparecen distintos tipos de sílex y radiolaritas. La existencia de cantos rodados de sílex y radiolaritas en el río Palmones nos permite inferir una procedencia, probable, de los afloramientos del terciario (Oligoceno) del Campo de Gibraltar, tales como el de Cerro Calderón o la Cantera de La Coracha, los cuales son erosionados y transportados por el río.

Los afloramientos más próximos de sílex a nuestra zona de estudio se localizan en las calizas jurasicas de las Sierras Subbéticas, y en menor medida en el Peñón de Gibraltar, además de los conglomerados del Oligoceno ya citados, por ejemplo, en el Cerro Calderón.

El aumento significativo de los diferentes tipos de sílex a partir del modo 3 en las estrategias de aprovisionamiento de materias primas, nos permite plantear como hipótesis de trabajo los inicios de una movi-

lidad por medio de una frecuentación de los sitios a través del nomadismo, con la finalidad de apropiarse de los diferentes productos que existen en los distintos biotopos. Así, hemos comprobado como buena parte de los sílex y radiolaritas localizados en el río Palmones han sido transportados por los homínidos a partir del modo 3 desde los afloramientos de calizas jurásicas de la sierras Subbéticas.

BIBLIOGRAFÍA

CASTAÑEDA, V.; HERRERO, N.; TORRES, F.; MARISCAL, D.; DOMÍNGUEZ-BELLA, S. y CASTAÑEDA, A. 2005a: "Las sociedades portadoras del tecnocomplejo Achelense en el Extremo Sur de la Península Ibérica. El ejemplo proporcionado por el río Palmones (Cádiz)". *Actas do IV Congresso de Arqueología Peninsular. O Paleolítico.* Universidad del Algarve. Faro: 277-286.

CASTAÑEDA, V.; HERRERO, N.; MARISCAL, D.; TORRES, F.; DOMÍNGUEZ-BELLA, S. y CASTAÑEDA, A. 2005b: "El sitio arqueológico de Lazareto 1 (Los Barrios, Cádiz). Un ejemplo de los modos de trabajo de una sociedad portadora del tecnocomplejo achelense". *Caetarea,* 4: 19-37.

DIDON, J. 1969: *Etude géologique du Campo de Gibraltar.* Thése París (Memorias Instituto Geológico y Minero de España).

DOMÍNGUEZ-BELLA, S. 2002: "Geología del Arco de Gibraltar. El Sur de la Península Ibérica y el Norte de África, como fuentes potenciales de materias primas minerales en la Prehistoria". Tilmatine, M.; Ramos Muñoz, J. y Castañeda, V. (Eds.). *Libro de Actas de las 1ª Jornadas de Estudios Históricos y Lingüísticos: El Norte de África y el Sur de la Península Ibérica.* Servicio de Publicaciones. Universidad de Cádiz: 219-232.

DOMÍNGUEZ-BELLA, S.; RAMOS MUÑOZ, J.; GRACIA PRIETO, J.; MORATA CÉSPEDES, D. *et al.* 1995: "Estudio geológico, análisis petrológico y aproximación tecnológica del asentamiento paleolítico superior final del Río Palmones (Algeciras, Cádiz)". En T. Aleixandre y A. Pérez-González. (Eds.). *Reconstrucción de Paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario.* Monografía 3. Centro de Ciencias Medioambientales. C.S.I.C. Madrid: 423- 436.

DOMÍNGUEZ-BELLA, S.; RAMOS MUÑOZ, J.; CASTAÑEDA, V.; GARCÍA, M.E.; SÁNCHEZ, M.; JURADO, G. y MONCAYO, F. 2004: "Lithic products analysis, raw materials and technology in the prehistoric settlement of the river Palmones (Algeciras, Cádiz, Spain)". *Actas del XIVe Congres de L´UISPP. Lieja, Bélgica 2001. Section 2. Archaeometry.* British Archaeological Reports (BAR) Internacional Series 1270. Oxford, Reino Unido: 47-55.

FONTBOTE, J.M. y ESTEVEZ, A. 1980: "Geología de las Cordilleras Béticas". *Bol. Geol. Min.* 91-2: 249-292.

GUTIERREZ MÁS, J.M.; MARTIN-ALGARRA, A.; DOMINGUEZ-BELLA, S. y MORAL CARDONA, J.P. 1991: *Introducción a la geología de la provincia de Cádiz.* Serv. Publicaciones Universidad de Cádiz.

MARTIN-ALGARRA, A. 1987: *Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética.* Tesis Doctoral, Univ. Granada. Departamento de Estratigrafía y paleontología. 2 Vol.

MORATA, D. 1993: *Petrología y geoquímica de las Ofitas de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas.* Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS SILÍCEOS EN POSICIÓN SECUNDARIA: LAS TERRAZAS DEL ÉUFRATES Y SU EXPLOTACIÓN DURANTE EL VIII Y VII MILENIOS CAL. B.C.

PROPOSAL FOR CHARACTERIZING FLINT OUTCROPS IN SECONDARY POSITION: THE EUPHRATES TERRACES AND ITS EXPLOITATION DURING THE VIIITH AND VIITH MILLENNIUM CAL. B.C.

FERRAN BORRELL TENA

Departament de Prehistòria. Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici B. Facultat de Lletres. 08193 Bellaterra.

RESUMEN

Las terrazas del Éufrates han sido, durante las últimas décadas, parcialmente cubiertas debido a la construcción de varios pantanos. Estas terrazas fueron, durante el Neolítico, una importante fuente de aprovisionamiento de sílex paras las comunidades de Halula (Siria), Akarçay (Turquía) y buena parte de los asentamientos ubicados en el valle del río durante el VIII y VII milenios cal. B.C. A pesar de esto, el estudio de dichas materias primas ha suscitado escaso interés. Para estudiar la industria lítica tallada de Akarçay y Halula se ha desarrollado una metodología específica que pone énfasis en el estudio de las materias primas procedentes de las terrazas del Éufrates. Los resultados obtenidos permiten comparar las estrategias de aprovisionamiento de sílex en ambos yacimientos a mediados del VIII milenio cal. B.C., así como su posterior evolución durante la primera mitad del VII milenio cal. B.C.

ABSTRACT

In the past few decades, the Euphrates terraces have been partly covered by the water due to the construction of several dams. These terraces were, during the Neolithic period, a main source of flint for the people settled in Tell Halula (Syria), Akarçay Tepe (Turkey) and most of the contemporary settlements along the valley during the VIIIth and VIIth millennium cal. B.C. In spite of this, the raw materials coming from secondary position outcrops have raised little interest to scholars. To study the chipped stone assemblages from Akarçay and Halula, a specific methodology has been developed. Special attention has been paid to raw materials provided from the Euphrates terraces, in order to better know the flint procurement strategies at both sites. This way, it has been possible to compare the results obtained in these two contemporary sites during the mid VIIIth millennium cal. B.C. and its evolution during the first half of the VIIth millennium.

Palabras clave: Neolítico, Levante Norte, sílex, terrazas del Éufrates, estrategias de aprovisionamiento, caracterización petrográfica.

Key words: *Neolithic, Northern Levant, flint, Euphrates terraces, procurement strategies, petrographic characterization.*

I. INTRODUCCIÓN

El valle medio del Éufrates comprende, en su sentido geográfico (Kuzucuoglu *et al.,* 2004), la región de Adiyaman (Turquía) hasta su confluencia con el río Khabour (Siria). En este tramo del río se han realizado diversos pantanos, los más recientes han sido los de Tichrine (Siria) y Carchemish (Turquía). Por este motivo empezaron las intervenciones arqueológicas en Tell Halula (Molist, 1996) y Akarçay Tepe (Arimura *et al.,* 2000). La construcción de los pantanos ha provocado la subida del nivel del agua y ha modificado el curso original del río, provocando una pérdida sustantiva de información. No obstante han sido muchos los geólogos y geomorfólogos que en las últimas décadas han estudiado las terrazas del Éufrates, trabajando tanto en Siria como en Turquía (Minzoni-Deroche y Sanlaville, 1988; Geyer y Besançon, 1997; Kuzucuoglu *et al.,* 2004). Estos trabajos han permitido obtener distintas secuencias de terrazas datadas desde el Pleistoceno Final hasta la Edad Media, pudiéndose establecer sucesivas fases de estabilización, depositación y erosión (Kuzucuoglu *et al.,* 2004). Estas terrazas contienen gran cantidad y variedad de rocas silíceas que, en forma de nódulos, aparecen en la mayoría de yacimientos neolíticos del valle medio del Éufrates. A pesar de esto, los materiales procedentes de las terrazas del Éufrates han despertado escaso interés por el simple hecho de que normalmente se trata de recursos locales de fácil acceso. Por esta razón, la identificación de estos recursos locales son llevados a cabo, a menudo, únicamente a partir de criterios macroscópicos bastante subjetivos. En este trabajo se presenta la metodología aplicada en Halula (Siria) y Akarçay (Turquía) para identificar y caracterizar las estrategias de aprovisionamiento de estos recursos, como parte fundamental para conocimiento del proceso de producción de herramientas líticas de ambos yacimientos, mediados el VIII milenio cal. BC hasta finales del VII[1]. Dicha metodología, desarrollada en anteriores trabajos (Borrell, 2005; Borrell *et al.,* 2006), se basa en la prospección de campo, la caracterización de la composición de los depósitos en posición secundaria y, finalmente, en la identificación de las distintas materias primas a partir de una combinación de criterios macro y microscópicos.

Los resultados obtenidos han permitido caracterizar las estrategias de aprovisionamiento de materias primas líticas de Tell Halula y Akarçay Tepe a mediados del VIII milenio cal. B.C. y su posterior evolución a los largo del VII milenio cal. B.C.

II. IDENTIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

La identificación de las distintas variedades de rocas silíceas se ha llevado a cabo mediante una combinación de variables macro y microscópicas obtenidas a partir del estudio de material arqueológico y el procedente de las prospecciones de campo realizadas. Se han establecido nueve[2] grupos de sílex, combinando las variables microscópicas (color, forma de los nódulos, tipo de córtex, tamaño, etc.) con otras variables microscópicas obtenidas tras la realización de 76 secciones delgadas. Dentro de estos grupos (figura 1) se documenta una cierta variabilidad, sobre todo en variables poco significativas como por ejemplo el color. En la siguiente tabla se resumen las distintas variables que caracterizan a cada uno de los grupos de sílex definidos.

1. Borrell, F. 2006: *La gestión de los recursos minerales silíceos en las primeras comunidades campesinas en el valle medio del Éufrates (VIII-VII milenios Cal. B.C.). Implicaciones socioeconómicas del proceso de producción lítico.* Tesis Doctoral Inédita. Bellaterra. Universitat Autònoma de Barcelona. www.tesisenxarxa.net/TDX-1109106-120636/

2. Los grupos de sílex establecidos reflejan las materias primas con similares características estructurales así como su aptitud para la talla, la misma procedencia, morfología y tamaño de los nódulos. Los grupos de sílex 1 a 7 han sido identificados en Akarçay Tepe y en Halula. El grupo 8A sólo ha sido identificado en Akarçay Tepe, mientras que el 8H sólo lo ha sido en Tell Halula. Por otra parte, un heterogéneo grupo 0 comprende todas aquellas otras variedades de sílex con una representatividad menor al 1%.

	Colour	Position	Size (cms)	Form	Size / Homogeneity of alpha quartz and other minerals	Secondary Features	Micro Paleontological Record
1	Light Grey and Pinkish	Secondary	16x12x6	Flat Globular	Cripto/Mesocrystalline Little homogeneity Little iron Many carbonates	Fractures filled with secondary quartz	Abundant micro-paleontological remains
2	Red and Light Grey	Secondary	17x15,5x8	Flat	Mesocrystalline Little homogeneity Little iron Many carbonates	Fractures filled with secondary quartz	
3	Light Cream	Primary and Secondary	16x12,6x8	Flat Tabular	Mesocrystalline Little homogeneity Little iron Many carbonates		Abundant micro-paleontological remains
4	Red	Primary and Secondary	11x10x5,5	Irregular	Cryptocrystalline Homogeneous or Very Homogeneous Abundance of iron Many carbonates	Fractures filled with secondary quartz	Sporadic presence of sea urchine spines
5	Brown and Reddish	Secondary	12x9x7	Globular Spherical	Cryptocrystalline Very homogeneous Little iron Little carbonates	Fractures filled with secondary quartz	Sporadic presence of Characeae Oogonium
6	Brown	Secondary	16x10x6	Globular Spherical	Crypto/Mesocrystalline Homogeneous A lot of iron Carbonates		Abundant micro-paleontological remains
7	Dark Brown	Primary	-	Globular	Cryptocrystalline Very homogeneous Little iron Little carbonates		Sporadic presence of *Nummulites*
8A	Grey	Primary	-x-x3	Tabular	Mesocrystalline Little Homogeneous No iron Little carbonates		Abundant micro-paleontological remains -radiolarians-
8H	Dark Brown	Secondary	10x7,5x7	Globular	Cryptocrystalline Homogeneous No iron Little carbonates		Abundant micro-paleontological remains

Figura 1. Descripción de los grupos de sílex establecidos.

Una muestra de las características microscópicas de los distintos grupos de sílex establecidos se observa en las siguientes fotografías (figura 2):

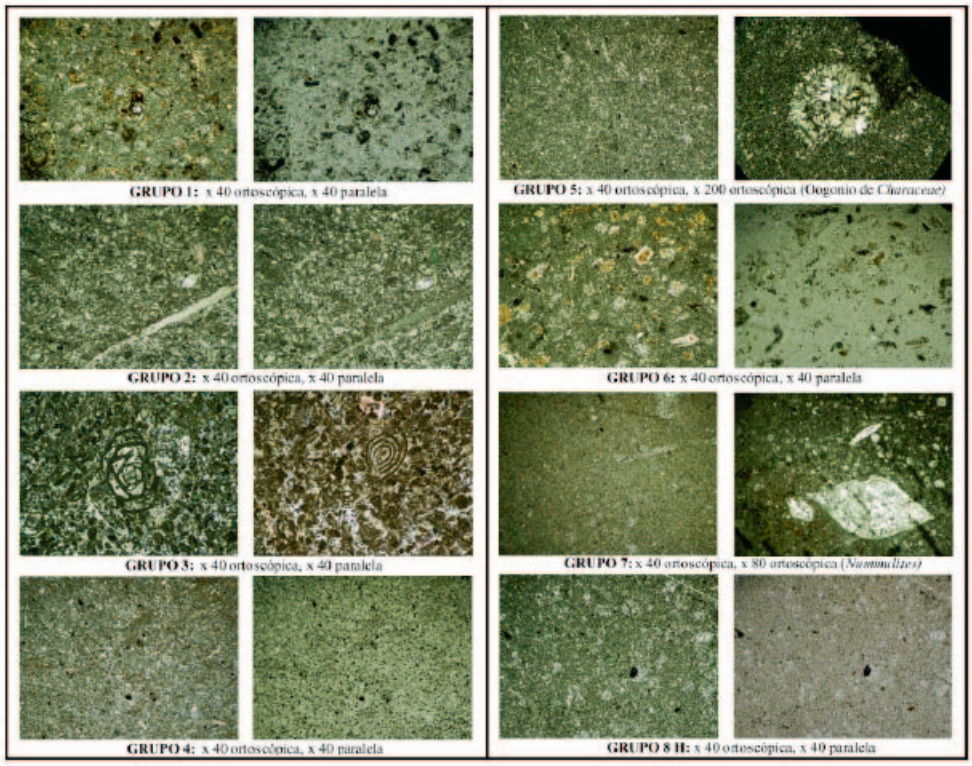


Figura 2. Secciones delgadas de los grupos de sílex 1 a 7 y 8H.

III. PROSPECCIÓN Y PROCEDENCIA DEL SÍLEX

III.1. Yacimientos en posición primaria

Tell Halula

En el área prospectada de un radio de 5 kilómetros de Halula no se han documentado afloramientos de sílex en posición primaria.

Akarçay Tepe

En cambio, la prospección de los alrededores de Akarçay ha permitido localizar una serie de afloramientos de sílex en posición primaria (Borrell, 2005; Borrell *et al.,* 2007). Estos afloramientos han sido caracterizados tomando las siguientes variables: situación del afloramiento, naturaleza del afloramiento (primario secundario), dimensiones de los nódulos (largo, ancho y grueso), forma general del nódulo (plano, globular, irregular, tubular y fragmento), tipo de roca caja, distancia en kilómetros (o metros) y en minutos andando desde el yacimiento y el grupo de sílex.

- En la vertiente sur de la colina de Karatepe (a escasos 500 metros del yacimiento) se encuentra un afloramiento de rocas calizas duras que conforman la roca caja de nódulos de un sílex rojizo de grano medio y con unas morfologías irregulares y de tamaño pequeño a mediano (5-15 cms). Algunos nódulos se han desprendido de la roca caja por efecto de la meteorización, encontrándose dispersos por los alrededores. Esta materia prima (grupo 4) también se encuentra, por lo general, en distintas zonas de las terrazas del río Éufrates.

- En el wadi Suderesi, que delimita el yacimiento de Akarçay por el norte, a escasos metros en dirección NNE, encontramos una zona en la que el wadi presenta unas paredes verticales de calizas blandas de alrededor de unos 7-8 metros de altura y donde aparecen distintos niveles de formaciones tabulares de sílex. Cinco de éstas han sido identificadas como el grupo 3 y una de ellas como grupo 8A. Se trata de formaciones tabulares de pocos centímetros de grosor difíciles de extraer y con abundantes impurezas en su interior, lo que dificulta su aprovisionamiento como su posterior gestión.

Fuera del área de prospección intensiva, son varios los afloramientos del grupo 7 que han sido localizados durante las prospecciones realizadas por nosotros mismos u otros equipos que trabajan en la región.

- El estudio del grupo de sílex 7 requiere de una especial atención cuando intentamos establecer su procedencia. En primer lugar, cabe destacar su abundante presencia en los yacimientos del valle medio de Siria, especialmente en aquellos ubicados en el norte de Siria. Su abundante presencia ha hecho que haya sido definido de distintas maneras[3]. A pesar de que las definiciones pueden variar un poco, del mismo modo que su color (del blanco al marrón oscuro o negro), no es difícil de identificar a nivel macroscópico, gracias también a su característico córtex calizo blanco.

La presencia, aunque mínima, de algún pequeño nódulo de sílex grupo 7 en distintos puntos de las terrazas del valle medio del Éufrates ha sido atestiguada (Borrell, 2005; Roodenberg, 1986). A pesar de esto, en ningún caso se considera el río como la fuente principal de aprovisionamiento de esta materia prima

3. En Dja'de se ha definido como un sílex "brun sombre à grain très fin" (Coqueugniot, 1994). En Tell Halula, como una porcelanita arcillosa, de gran calidad, grano muy fino y de color variable (Molist *et al.,* 2001). En Mureybet se ha definido como un sílex "à grain fin" (Cauvin, 1994), "tres bon sílex à grain fin" (Cauvin *et al.,* 2001) o un "silex éocene est de colour brun-noir à grain très fin et d'aspect «grass»" (Abbès, 2003). En Bouqras se define como sílex de calidad, fino de color gris-marrón o beige (Roodenberg, 1986) y en Tell es Sinn como "…en gris, brun et anthracite est d'une qualité supérieure" (Roodenberg, 1980).

sino que procedería de afloramientos primarios localizados. En Turquía, a unos 25 kilómetros al norte de Akarçay, en la localidad de Halfeti se localizó un afloramiento[4] en posición primaria (Borrell, 2005). En Siria, las prospecciones realizadas por distintos investigadores que trabajan en el norte del país (Cauvin, 1994, Cauvin *et al.,* 2001; Abbès, 2003) han permitido localizar distintos afloramientos de esta materia prima en la formación de Maksar, a una distancia de unos 25 kilómetros de Tell Halula, en dirección sur. En Tell Halula y Akarçay Tepe esta materia prima debe ser diferenciada del resto, puesto que se trata de un recurso mineral de procedencia exógena que se encuentra a una distancia que puede ser recorrida en un día de marcha, pero cuya captación de los nódulos y el recorrido de vuelta no puede ser llevada a cabo en la misma jornada.

III.2. Afloramientos en posición secundaria

La especial problemática que surge al intentar caracterizar la composición de los depósitos en posición secundaria ha sido objeto de estudio por parte de algunos investigadores (Ray, 1982; Howard, 1993; Shelley, 1993; Risch, 1995[5]) pero ha sido especialmente olvidada en la región de Próximo Oriente.

La presencia de nódulos de sílex en los alrededores del yacimiento de Akarçay Tepe es notable, debido a que el mismo yacimiento se encuentra parcialmente encima de las paleoterrazas del Éufrates. La distancia, pues, del yacimiento a las distintas áreas donde se encuentran buena parte de los grupos de sílex identificados es mínima. Para caracterizar dichas terrazas se han planteado seis cuadrículas de 10 x 10 m en distintos puntos, situadas a no más de 800 metros del yacimiento, analizando un total de 212 muestras de sílex.

Para conocer la composición de las terrazas del Éufrates cercanas a Tell Halula se tuvo que afrontar una problemática específica: la inundación de éstas entre el tramo de Karakozak y Halula (figura 3). Para sol-

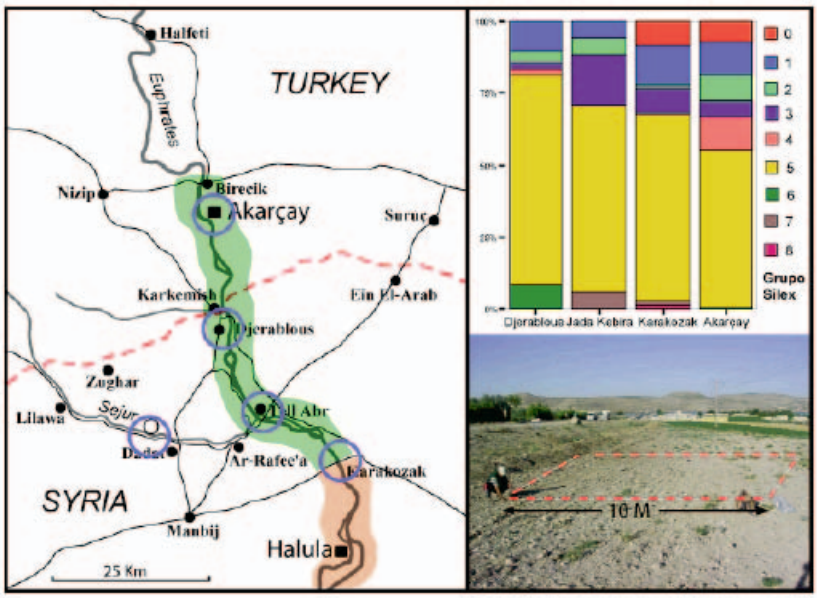


Figura 3. Localización de los puntos donde las terrazas fueron muestreadas. En rojo se indica que las terrazas se encontraban completamente inundadas. A la derecha se observan los porcentajes de cada grupo de sílex en cada punto muestreado.

4. Los nódulos aparecen en una formación de calizas eocénicas, y algunos de éstos se han desprendido por efecto de la meteorización y se encuentran en las orillas de río.

5. Risch, R. 1995: *Recursos naturales y sistemas de producción en el Sudeste de la Península Ibérica entre 3000 y 1000 ANE.* Tesis Doctoral inédita. Bellaterra. Universitat Autònoma de Barcelona.

ventar este problema se ha llevado a cabo una prospección y muestreo de las terrazas del Éufrates entre Djerablous y Karakozak, para poder definir la composición de éstas terrazas en todo este tramo y inferir, en el caso de que se pudiera, la composición de las terrazas inundadas cercanas a Tell Halula. Con este objetivo se han muestreado las terrazas en Djerablous, Jada Kebira y Karakozak. Del mismo modo se ha muestreado el río Sejur, con la intención de conocer los materiales que este río aporta, y en que porcentajes, a las terrazas del Éufrates.

IV. RESULTADOS

El primer resultado del programa de prospecciones realizadas durante las campañas 2000-2004 ha sido la localización de distintos afloramientos en posición primaria. También se ha determinado qué variedades de sílex y en qué porcentajes se encuentran en distintos puntos de las terrazas del Éufrates, desde Akarçay hasta Karakozak. Desde esta localidad hasta la presa de Tichrine, las paleoterrazas que hubiera podido haber en este tramo del río, se encuentran en la actualidad sumergidas bajo el agua, pero los resultados permiten plantear que la diversidad y proporción de las rocas silíceas en las terrazas de este tramo de río, ahora sumergidas, no se vería alterada por el aporte de otras litologías. En las terrazas muestreadas se documentan los mismos grupos de sílex y en porcentajes muy similares (figura 3)[6]. De tal modo, la diversidad de rocas silíceas y las proporciones de éstas en la paleoterrazas del río no parecen sufrir grandes diferencias durante el tramo que ha sido prospectado. Este hecho junto con la inexistencia de afluentes del Éufrates entre Karakozak y Tell Halula que puedan aportar otros materiales y el hecho de que tampoco se han localizado afloramientos de sílex en este tramo, permite equiparar la composición de las paleoterrazas del Éufrates en Sandalie (a 2 kms de Tell Halula y actualmente bajo las aguas), con la obtenida en las paleoterrazas de los tramos superiores del río. De este modo, utilizando los datos fruto de la caracterización de las terrazas en Djerablous, Jada Kebira y Karakozak, hemos podido conocer la gestión que la comunidad neolítica de Tell Halula hizo de las rocas silíceas procedentes de las cercanas terrazas del Éufrates.

V. ESTRATEGIAS DE APROVISIONAMIENTO DE ROCAS SILÍCEAS EN AKARÇAY TEPE (TURQUÍA) Y TELL HALULA (SIRIA)

A partir de los datos obtenidos se han podido identificar y caracterizar las estrategias de aprovisionamiento de las comunidades neolíticas de Halula y Akarçay durante el lapso temporal estudiado. Estos resultados han sido obtenidos tras el estudio de 8.951 restos líticos procedentes de Akarçay Tepe (Turquía) y 6.911 de Tell Halula (Siria). El material lítico de Tell Halula pertenece a las Fases de Ocupación 8 a 14 de este yacimiento datadas entre el 7560 y el 7320 cal B.C. respectivamente. El material lítico de Akarçay Tepe procede de una secuencia de layers que va del 7580 al 6300 cal. B.C. La secuencia de layers de Akarçay Tepe ha sido resumida en cinco Fases Líticas, tres pertenecientes al periodo neolítico precerámico (Fases Líticas 5 a 3) y dos al cerámico (Fases Líticas 2 y 1). De este modo los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- En primer lugar se ha podido establecer la importancia de los recursos líticos procedentes de las terrazas del Éufrates para las comunidades neolíticas de Akarçay Tepe y Tell Halula. En Akarçay estas materias primas representan el 90% de los restos, mientras que en Halula casi el 70% del total. El resto del material lítico pertenece, en su mayor parte, al grupo de sílex 7.

6. El grupo 5 es claramente mayoritario en todos los muestreos significando entre un 65-75% de los nódulos identificados. Los grupos 1, 2 y 3 representan el 20-30% de los nódulos mientras que el resto aparecen en pequeñas proporciones. La excepción la representa el alto porcentaje de sílex grupo 4 en las terrazas cercanas a Akarçay. Dicho fenómeno se explica por la cercanía de los afloramientos en posición primaria.

• En segundo lugar, se podido constatar un elevado grado de selección de las materias primas procedentes de las terrazas del Éufrates en ambos yacimientos y durante toda la horquilla cronológica estudiada (figura 4).

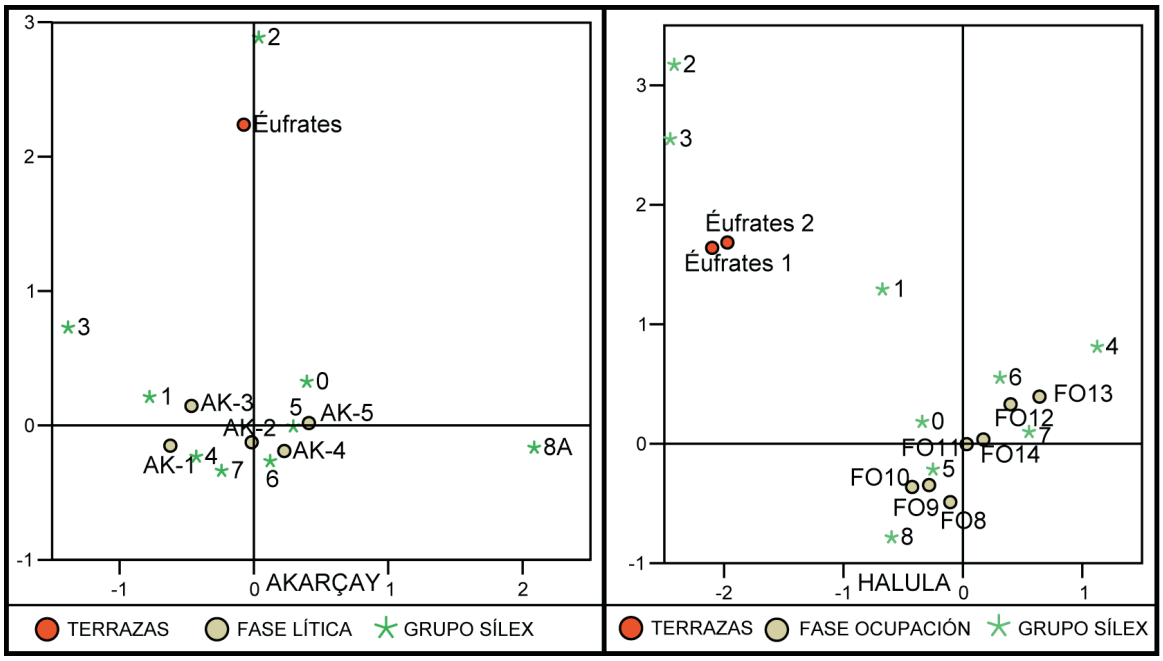


Figura 4. Análisis de correspondencias[7] con las variables grupo de sílex y Fase Lítica/Fase de Ocupación en Akarçay Tepe (izquierda) y Tell Halula (derecha). A las Fases Líticas/Fases de Ocupación se ha añadido el resultado del muestreo realizado en las terrazas de Akarçay (Euphrates) y en las terrazas de Karakozak (Euphrates 1) y la suma de los muestreos hechos en Djerablous, Jada Kebira y Karakozak (Euphrates 2).

En los análisis realizados, se observa como todas las Fases de Ocupación de Halula y las Fases Líticas de Akarçay se encuentran muy alejadas de las terrazas del Éufrates. De este modo queda clara la selección de los grupos de sílex más aptos para talla en prejuicio de las materias primas de grano más grueso y con peores características para la talla (grupos 1, 2 y 3). Los grupos de sílex 1, 2 y 3 están relativamente bien representados en las paleoterrazas del Éufrates, pero casi no son utilizados por las poblaciones neolíticas de Halula y Akarçay. El mismo análisis se ha hecho eliminando los grupos de sílex 4 y 7 que aparecen en posición primaria y se han obtenido idénticos resultados[8].

• En el caso de Akarçay Tepe, y debido a que la secuencia estudiada es muy larga, se ha podido establecer una evolución cronológica en las estrategias de aprovisionamiento de las materias primas procedentes de las terrazas del Éufrates (figura 5).

Los resultados obtenidos (figura 5) permiten plantear una evolución cronológica de las estrategias de aprovisionamiento de sílex en Akarçay Tepe. Se documenta una mayor selección de las materias primas disponibles durante las primeras ocupaciones de Akarçay, y gradualmente ese grado de selección desciende y se aprovechan cada vez más aquellos grupos de sílex menos aptos para la talla. En otras palabras, se da una menor inversión en la selección de las materias primas disponibles. Este cambio se da

7. En el análisis de Akarçay X = 52% y Y = 33%. En el caso de Tell Halula, X= 58% y Y =31%.

8. Ver nota 1.

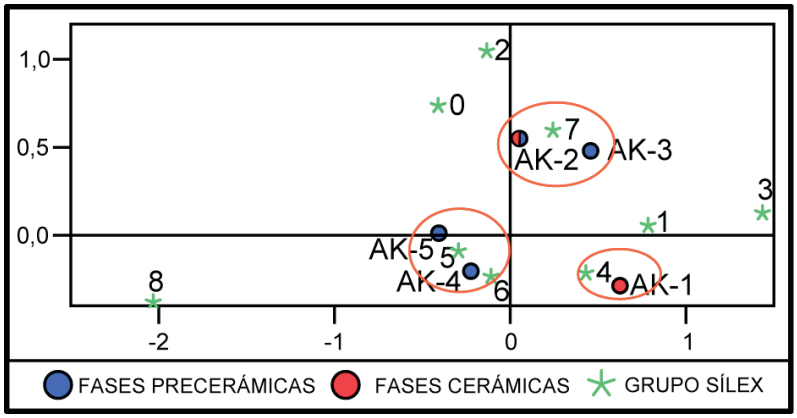


Figura 5. Análisis de correspondencias efectuado con las variables Fase Lítica y grupo de sílex. El eje de la X representa el 76% de la varianza y el de las Y el 16%.

de modo gradual a lo largo de la secuencia estudiada, pudiéndose establecer tres estrategias de aprovisionamiento distintas en Akarçay Tepe. Estos datos evidencian que los cambios en las estrategias de aprovisionamiento empiezan durante las ocupaciones precerámicas a lo largo de la segunda mitad del VIII milenio cal. B.C. y que continúan durante las ocupaciones cerámicas del Tell.

Otro interesante resultado ha sido la comparación (figura 6) de las estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas documentadas en las ocupaciones precerámicas contemporáneas de Tell Halula (Fases de Ocupación 8 a 14) y Akarçay Tepe (Fases Líticas 5 a 3). Grandes diferencias en las estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas se observan al comparar las ocupaciones contemporáneas de Halula y Akarçay. Estas diferencias no sólo se limitan al aprovisionamiento de materias primas exógenas (grupo 7), mucho más abundantes en Halula, sino que también se observan en la gestión de los grupos de sílex procedentes de las terrazas del Éufrates y que son mucho más abundantes en Akarçay.

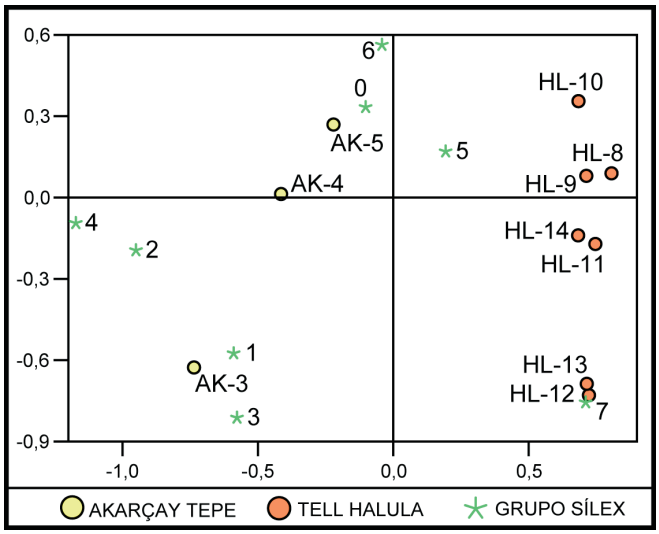


Figura 6. Análisis de correspondencias con las Fases Líticas 3 a 5 de Akarçay Tepe, las Fases de Ocupación 8 a 14 de Tell Halula y los distintos grupos de sílex[9].

9. Los grupos de sílex 8A y 8H, con poco más de 50 piezas en total, han sido eliminados en este análisis. El eje de las X representa el 80% de la varianza.

VI. CONCLUSIONES

A nivel metodológico, cabe destacar los buenos resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología elaborada. La combinación de variables macro y microscópicas para la identificación y caracterización de las materias primas, así como la caracterización de la composición de las terrazas del Éufrates se han evidenciado como totalmente necesarias para el conocimiento de las estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas por parte de las comunidades neolíticas de Tell Halula y Akarçay Tepe.

En segundo lugar, la aplicación de dicha metodología en ambos yacimientos del Levante Norte ha permitido ha permitido documentar:

- La importancia de las materias primas de origen local, sobre todo de aquellas procedentes de las paleoterrazas del río Éufrates.
- El alto nivel de selección que se hace de aquellas materias primas presentes en los depósitos en posición secundaria.
- En el caso de Akarçay Tepe, cuya secuencia cronológica estudiada llega a casi 1500 años, se ha podido establecer una evolución en el tiempo de las estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas, con una clara tendencia hacia una menor selección de las materias primas más aptas para la talla. Este fenómeno, se ha observado también en otros yacimientos del Levante Norte (Nishiaki, 2000), y debe enmarcarse dentro de un proceso más general de desinversión en el conjunto de la producción de herramientas de piedra, documentado en el valle medio del Éufrates[10] y otras regiones del Próximo Oriente así como en la isla de Chipre (Briois, 1999, 2003; Astruc, 2003).
- Por otra parte, la comparación de las estrategias de aprovisionamiento de las ocupaciones contemporáneas de Halula y Akarçay, han permitido observar importantes diferencias. Durante las Fases Líticas 4 y 5 de Akarçay Tepe (3/4 del VIII milenio cal. B.C.), las diferencias con Tell Halula casi se limitan a la gestión de los recursos no locales, más abundantes en este último yacimiento. Por el contrario a partir de la Fase Lítica 3 (4/4 del VIII milenio cal. B.C.) estas diferencias también se observan claramente en la gestión de los abundantes recursos locales. A partir de estos datos cabe destacar la existencia de distintas estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas en yacimientos contemporáneos, muy cercanos entre sí, en el valle medio del Éufrates.

A nivel general, reivindicar la necesidad de estudios específicos para la identificación y caracterización de las estrategias de aprovisionamiento de rocas silíceas, del mismo modo que se profundiza en los trabajos de índole tecnológica y/o tipológica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Miquel Molist (Universitat Autònoma de Barcelona) y a las Dras. Nur Balkan-Atlı y Mihriban Ozbasaran (Universidad de Estambul), directores de las excavaciones de Tell Halula y Akarçay Tepe, su total apoyo a esta investigación durante el trabajo de campo como en el posterior trabajo de laboratorio. También debo agradecer la ayuda prestada y los comentarios hechos por los Dres. Xavier Terradas y Juanjo Ibáñez (CSIC-Institut Milà i Fontanals). Esta investigación ha sido llevada a cabo en el marco de distintos proyectos financiados por la Generalitat de Catalunya (2006-EXCAV0004, SGR-2005-00241), el University of Istanbul Research Fund, el ODTU TACDAM Rescue Program y el Ministerio de Educación y Ciencia (HUM2007-66237).

10. Ver nota 1.

BIBLIOGRAFÍA

ABBÈS, F. 2003: *Les outillages néolithiques en Syrie du Nord. Méthode de débitage et gestion laminaire durant le PPNB.* BAR International Series 1150. Oxford.

ARIMURA, M.; BALKAN-ATLI, N.; BORRELL, F.; CRUELLS, W.; DURU, G.; ERIM-ÖZDOGAN, A.; IBÁÑEZ, J.; MAEDE, O.; MIYAKE, Y.; MOLIST, M. y ÖZBASARAN, M. 2000: "A new neolithic settlement in the Urfa region: Akarçay Tepe, 1999". *Anatolia Antiqua VIII.* IFEA-Paris de Boccard: 227-255.

ASTRUC, L. 2003: "L'outillage lithique taillé de Khirokitia (Néolithique Pré-Céramique Récent, VII e millénaire av. J.-C. Cal.): caractéristiques générales et particularités". En J.Guilaine y A. Le Brun (eds.). *Le Néolithique de Chypre, Bulletin de Correspondance Hellénique,* supplément 43: 161-173.

BALKAN-ATLI, N.; ERIM-ÖZDOGAN, A. y ÖZBASARAN, M. 1999: "Akarçay Tepe, 1998 Arastirmasi". En N. Tuna y J. Öztürk (eds.): *Salvage Project of the Archaeological Heritage of the Ilisu and Charchemish Dam Reservoirs. Activities in 1998.* ÖDTU/METU. Ankara: 63-80.

BRIOIS, F. 1999: "Les industries lithiques précéramiques du Proche-Orient et leur implication dans la connaissance de la Préhistoire chypriote". *La pierre taillé. Ressources, technologies, diffussion. Archives d'Ecologie Préhistorique.* Ecole des Hautes Etudes en Sciences Socials. Toulouse: 63-66.

BRIOIS, F. 2003: "Nature et évolution des industries lithiques de Shillourokambos". En J. Guilaine y A. Le Brun (eds.). *Le Néolithique a Chypre, Bulletin de Correspondance Helléniques,* supplément 43:121-133.

BORRELL, F. 2005: "Flint procurement strategies in the neolithic site of Akarçay Tepe (Sanliurfa) during the VIIIth-VIIth millennium cal. B.C.". *Anatolia Antiqua* XIII: 1-14.

BORRELL, F. 2007: "From PPNB to PN: Chipped Stone Industries of the Middle Euphrates Valley. New Data, New Interpretations". *Neo-Lithics* 1/07: 33-37.

BORRELL, F.; MOLIST, M. y IBÁÑEZ, J. 2006: "Aprovisionamiento y selección de las materias primas en el yacimiento neolítico de Akarçay Tepe (Turquía) VIII y VII milenio B.C.". En G. Martínez, A. Morgado y J.A. Afonso (coords.). *Sociedades prehistóricas, recursos abióticos y territorio. Actas de la III Reunión de trabajo sobre aprovisionamiento de recursos abióticos en la Prehistoria.* Fundación Ibn-al-Jatib de estudios y cooperación cultural. Granada: 215-233.

CAUVIN, M.C. 1994: "Synthèse sur les industries lithiques Néolithique Préceramique en Syrie". En S.K. Kozlowski y H.G.K. Gebel (eds.). *Neolithic Chipped Stone Industries of the Fertile Crescent, and Their Contemporaries in Adjacent Regions. Studies in Early Near Eastern Production, Subsistence, and Environement* 3. Berlin, ex oriente: 279-297.

CAUVIN, M.C.; ABBÈS, F.; GONZÁLEZ, J.E. y IBÁÑEZ, J. 2001: "L'outillage lithique de la structure XLVII de Mureybet (9200 cal. av. J.C.) en Syrie du nord ". En I. Caneva, C. Lemorini, D. Zampetti y P. Biagi (eds.). *Beyond Tools* 9, Berlin, ex oriente: 217-242.

COQUEUGNIOT, E. 1994: "L'industrie lithique de Dja'de el-Mughara et le début du PPNB sur l'Euphrate Syrien (Sondages 1991 et 1992)". En S.K. Kozlowski y H.G.K. Gebel (eds.). *Neolithic Chipped Stone Industries of the Fertile Crescent, and Their Contemporaries in Adjacent Regions. Studies in Early Near Eastern Production, Subsistence, and Environement* 3. Berlin, ex oriente: 313-330.

GEYER, B. y BESANÇON, J. 1997: "Environnement et occupation du sol dans la vallée de l'Euphrate syrien durant le Néolithique et le Chalcolitique". *Paléorient* 22/2: 5-15.

HOWARD, J.L. 1993: “The statistics of counting clasts in rudites: a review, with examples from the upper Plaecogene of southern California, USA”. *Sedimentology* 40:155-174.

KUZUCUOGLU, C.; FONTUGNE, M. & MOURALIS, D. 2004: “Holocene Terraces in the Middle Euphrates valley, between Halfeti and Karkemish (Gaziantep, Turkey)”. *Quaternaire* 15, 1-2: 195-206.

MOLIST, M. 1996: *Tell Halula (Siria). Un yacimiento neolítico del Valle Medio del Éufrates. Campañas 1991 y 1992.* Ministerio de Educación y Cultura. Madrid.

MOLIST, M. 2001: “Novedades de la investigación de los orígenes de las sociedades agrícolas en el Próximo Oriente: el Medio Éufrates sirio y su rol en el proceso de neolitización”. *Monografies Eridu* 1: 173-187.

MINZONI-DEROCHE, A. y SANLAVILLE 1988: “Le Paléolithique inferieur de la région de Gaziantep”. *Paléorient* 14/2: 87-98.

NISHIAKI, Y. 2000: *Lithic Technology of Neolithic Syria.* BAR International Series 840. Oxford.

RAY, J.H. 1982: “A test for the quality and quantity of chert nodules in stream-deposited chert sources”. *Lithic Technology* XI (I): 5-12.

ROODENBERG, J.J. 1980: “Sondage des niveaux néolithiques de Tell es Sinn, Syrie”. *Anatolica* VII: 21-34.

ROODENBERG, J.J. 1986: *Le mobilier en pierre de Bouqras. Utilisation de la pierre dans un site néolithique sur le Moyen Euphrate (Syrie).* Uitgaven van het Nederlands historisch-archaeologisch Institut te Istanbul 61. Nederlands Historisch-Archaeologisch Instituut. Istanbul.

SHELLEY, P.H. 1993: “A Geoarcheological Approach to the Analysis of Secondary Lithic Deposits”. *Geoarcheology: An International Journal* Vol. 8 (1): 59-72.

ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE LAS LÁMINAS DE SÍLEX PROCEDENTES DE LA TUMBA III DEL YACIMIENTO DE LA PIJOTILLA (BADAJOZ)

ARCHAEOMETIC STUDY OF CHERT BLADES FROM THE TUMBA III (LA PIJOTILLA, BADAJOZ)

A. POLVORINOS[1], M.J. HERNÁNDEZ[1], J. ALMARZA[1], M. FORTEZA[1], J. CASTAING[2], V. HURTADO[3]

(1) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla
(2) Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France. Paris
(3) Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis arqueométrico de un conjunto de láminas de sílex encontradas en el ajuar del enterramiento de la Tumba III del yacimiento calcolítico de La Pijotilla (Badajoz). Se ha realizado el análisis macroscópico, microscópico, difracción de rayos-X y SEM-EDAX de un conjunto representativo de sílex, lo que permite constatar la existencia de tres tipos de sílex: traslúcidos, opacos y patinados, subdivididos en función de su tamaño de grano y textura. Así mismo se evalúa la utilidad de la técnica de reflectancia espectral difusa en el visible-infrarrojo próximo (400-2500nm) para la discriminación tipológica de los sílex estudiados. El análisis de los espectros de reflectancia difusa del conjunto de sílex ha permitido la realización de una librería de referencia para su clasificación tipológica, así como identificar la presencia de otros minerales. Se analiza la utilidad potencial de la técnica de análisis espectral de reflectancia difusa en el visible-infrarrojo próximo (400-2500nm) en campañas de prospección para la rápida y efectiva identificación de posibles áreas fuente de sílex de interés en Arqueología.

ABSTRACT

This paper presents the archaeometric analysis of chert blades found in the Tomb III of La Pijotilla (Badajoz) Chalcolithic site. Macroscopic description, petrography, X-ray diffraction and SEM-EDAX analysis of a selected collection of chert, confirm the presence of three kinds of chert: translucent, opaque and patinated, each of them subdivided by size of grain and texture. The mineralogical study is completed with the assessment of spectral diffuse reflectance in the VIS-SWIR (400-2500nm) range for discrimination of chert. The analysis of diffuse reflectance spectra of the whole collection of chert allowed for the implementation of a reference library for typology classification and also for mineral identification. The potential of VIS-SWIR spectral data for field work aimed at easy and effective identification of chert sources of archaeological interest, is analysed.

Palabras clave: Calcolítico, La Pijotilla (Badajoz), láminas de sílex, petrografía, DRX, SEM-EDAX, reflectancia difusa.

Key words: *Chalcolithic, La Pijotilla (Badajoz), chert, blades, petrography, X-ray diffraction (XRD), SEM-EDAX, diffuse reflectance.*

I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de La Pijotilla (Badajoz) presenta características relevantes entre los yacimientos calcolíticos de Tierra de Barros, cuya disposición refleja una estructura jerarquizada en la que La Pijotilla se constituye como el principal centro de poder. La tumba III corresponde al denominado tipo tholos, formado por un corredor y una cámara circular cubierta con falsa cúpula (García Sanjuán y Hurtado Pérez, 1997).

El ajuar es muy variado, compuesto en su mayor parte por recipientes cerámicos, betilos de caliza, diversos tipos de ídolos, cuentas de collar, un cuchillo de cobre, vasos de hueso decorados, además de numerosas puntas de flecha, láminas de sílex, punzones de hueso, hachas pulimentadas, una alabarda o puñal de caliza, "bastones de mando", escoplos, laminitas de cristal de roca, adornos de hueso en forma de cuernos, espátulas de pizarra, ocre, limonita, conchas marinas y restos de animales (Hurtado Pérez *et al.,* 2000).

Trabajos arqueométricos previos (Polvorinos *et al.,* 2002) han permitido la identificación de los materiales de algunos de los objetos líticos, señalándose, además de la producción calcárea local, la presencia esporádica de materiales "exóticos" que sugieren la probable interacción comercial con entornos relativamente alejados del yacimiento.

Entre el material lítico encontrado en este yacimiento (en torno a centenar de piezas) destaca por su calidad y el entorno funerario en que se encuentran, el conjunto de láminas de sílex en número de 52 ejemplares, de ellas 35 retocadas y el resto lisas que aparecen dispersas por toda la tumba.

La significación simbólica de estos objetos y su valor interpretativo en el contexto arqueológico del yacimiento suscita la necesidad de profundizar en el conocimiento de la diversidad de los materiales utilizados en su fabricación, lo que eventualmente nos permitirá determinar su procedencia geográfica, es decir la localización de las posibles fuentes de aprovisionamiento de sílex, ya sean locales o foráneas, en el marco de campañas de prospección regionales futuras.

Por ello uno de los objetivos de este trabajo es la caracterización textural y mineralógica de este conjunto de láminas a partir de un número limitado de objetos representativos del total que nos permita determinar la diversidad de materiales. Uno de los inconvenientes importantes de las técnicas convencionales empleadas en este análisis es que requieren la toma de muestras y por tanto no son aplicables a objetos cuya conservación integral es imprescindible, por lo que se requiere la aplicación de técnicas analíticas no invasivas.

La espectroscopia de reflectancia difusa en VIS-SWIR (400-2500nm) es una técnica no destructiva aún de escasa aplicación en arqueometría, si bien en el rango VIS-NIR (400-1000nm) estos métodos se han aplicado en el estudio de pigmentos cerámicos (Padeletti *et al.,* 2004; Piccollo *et al.,* 2000), pinturas (Elias *et al.,* 2001; Elias *et al.,* 2004 a, b; Miliani *et al.,* 2007) o superficies metálicas rugosas (Elias y Menú, 2000). La extensión al rango infrarrojo (1000-2500nm) permite obtener información mas detallada sobre la mineralogía de los materiales (Clark, 1999; Hunt, 1977, 1979).

Por ello, otro de los objetivos de este estudio es evaluar la utilidad y limitaciones de la espectrometría de reflectancia difusa con fibras ópticas en el rango VIS-SWIR (400-2500nm) para la caracterización y eventual clasificación del conjunto de láminas de sílex en base a sus respuestas espectrales.

II. METODOLOGÍA

Para la caracterización arqueométrica de los sílex se han realizado análisis con lupa binocular y microscopio petrográfico, difracción de rayos X, SEM-EDAX de algunas muestras seleccionadas y espectrometría de reflectancia difusa visible-infrarrojo próximo (400-2500nm) de todo el conjunto de muestras.

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X mediante el método del polvo, se utilizó un difractómetro Philips modelo PW1130/90 dotado con rendija automática, radiación KCuα filtro de Ni, y unas condiciones de trabajo de 40 kV y 20 mA.

Algunas muestras fueron analizadas por SEM-EDAX con un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL 6450LV.

Los espectros de reflectancia difusa del conjunto de muestras se realizaron con un espectrofotómetro portátil Terraspec de ASD en el rango 350-2500nm que incorpora un detector de fotodiodos de Si de 512 elementos para el rango 350-1000nm y dos de InGaAs enfriados por efecto Peltier de 1000 a 2500nm; la sonda de contacto utilizada incorpora una luz halógena para la iluminación y una fibra óptica múltiple, que con una posición fija permite la reproducibilidad de las medidas y cubre una superficie de 10mm de diámetro. La reflectancia, definida como el cociente entre la luminancia de la muestra y la luminancia de un reflector difuso perfecto, se mide en las mismas condiciones experimentales en la muestra y en un patrón de Spectralon. Los espectros se han medido sobre superficies homogéneas, utilizando un promedio de 30 adquisiciones, y se han analizado utilizando métodos convencionales de clasificación tanto a partir de los espectros totales como de los espectros tras la eliminación del espectro continuo.

III. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA

El estudio macroscópico de los sílex, con el apoyo de lupa binocular, permite distinguir tres grandes grupos:

- Sílex traslúcidos o semitraslúcidos sin rasgos sedimentarios observables a escala macroscópica, excepto por la presencia ocasional de posibles fósiles.
- Sílex opacos, con texturas y microestructuras sedimentarias visibles a simple vista o con lupa.
- Sílex opacos con pátina de alteración que cubre completamente el objeto arqueológico.

Grupo de sílex traslúcidos

Se trata de láminas de color marrón o rojizo más o menos oscuro en función del contenido en óxidos de hierro y con distinto grado de translucidez, pudiendo llegar a ser casi transparentes según la iluminación.

Se pueden subdividir según su textura en homogéneos o heterogéneos por la presencia de zonas de color claro.

Textura homogénea

Es un conjunto poco numeroso de sílex muy traslúcidos de color marrón y grano fino, con diseminaciones metálicas oxidadas. Algunos presentan brillo satinado.

Al microscopio petrográfico se observa que están formados mayoritariamente por microcuarzo, sin textura sedimentaria apreciable, y con algunos crecimientos de cuarzo y calcedonia (fig.1a).

Textura heterogénea

Su color oscila entre el marrón rojizo y el beige claro, con zonas más claras que pueden ser irregulares o en bandas, o bien con morfología subcircular, que en caso de ser muy abundantes les confieren un aspecto glandular. Es frecuente que los óxidos de hierro se asocien a las zonas claras. En superficie presentan microgeodas de cuarzo y diseminaciones metálicas. En algún caso puede haber fósiles u otras estructuras sedimentarias.

Están constituidos por una masa de cuarzo microcristalino en la que destacan zonas subredondeadas de macrocuarzo en mosaico (fig. 1c) Algunas piezas conservan, en mayor o menor grado de transformación, texturas sedimentarias peoloidales o bioclásticas y restos de carbonatos. Los pelets y restos fósiles, principalmente bivalvos, se encuentran sustituidos por microcuarzo, delimitados por óxidos de hierro, y rodeados por cuarzo macrocristalino, y en algunos casos calcedonia, que rellenan la porosidad inicial del sedimento y le confieren un entramado reticular (fig.1b). También se encuentra algún cuarzo detrítico.

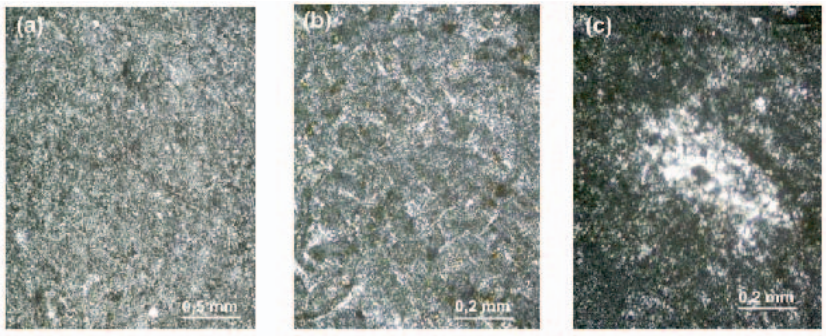


Figura 1. Principales características petrográficas de los sílex traslúcidos. a) sílex traslúcido homogéneo Nx4x; b) sílex traslúcido heterogéneo con textura reticular Nx10x; c) glándula de cuarzo en sílex traslúcido heterogéneo Nx10x.

La difracción de rayos X pone de manifiesto que el cuarzo es la única fase cristalina de los sílex translúcidos, aunque en algunas muestras se ha observado la presencia de moganita, y los análisis de SEM-EDAX muestran un contenido en SiO_2 superior al 95%, por lo que se trataría de sílex muy puros (Tabla 1).

TIPOS DE SÍLEX		ANÁLISIS MACROSCÓPICO	ANÁLISIS PETROGRÁFICO	Dif. rX	SEM
TRASLÚCIDOS (60%) MARRÓN – ROJIZO (SEGÚN %OFe)	HOMOGÉNEOS	Marrón. Grano fino. Brillo satinado Diseminaciones metálicas	Microcuarzo. Algún cuarzo fibroso y calcedonia. Sin textura sedimentaria.	Q	
	HETEROGÉNEOS	Marrón rojizo-beige claro, con zonas blancas (Aspecto glandular) Óxidos de Fe. Microgeodas de Q. Diseminaciones metálicas.	Microcuarzo. Crecimientos subcirculares de cuarzo en mosaico (glándulas). Fantasmas de texturas sedimentarias: pelets y bioclastos reemplazados por microcuarzo. Cuarzo y calcedonia en relleno intergranular.	Q	SiO2 >95%
OPACOS CON TEXTURA SEDIMENTARIA (31%)	OOLÍTICOS Y/O PELOIDALES	Marrón a claro o rosado por OFe (moteado). Oolitos /pelets/fósiles.	Oolitos y pelets parcialmente transformados: microcuarzo en el núcleo y envueltas de carbonatos y óxidos de Fe. Rodeados de cuarzo fibroso que da textura reticulada. Matriz de microcuarzo con calcedonia. Silicificación preferentemente en matriz.	Q	SiO2 >95%
	LAMINACIÓN	Alternancia de bandas claras (oolíticas) con bandas más oscuras (bioclásticas) Frecuentes microgeodas de cuarzo.	Parcialmente silicificados. Alternancia de bandas oolíticas y bioclásticas. Microcuarzo en matriz con calcedonia, y los carbonatos en pelets y bioclastos (restos de conchas de bivalvos orientadas). Existe algún cuarzo detrítico.	Q (Ca)	
OPACOS PATINADOS 9-10%	PÁTINAS BIEN DESARROLLADAS	Pátinas de color claro y aspecto terroso en todo el objeto. 1 a 3 mm.de espesor.	Núcleo sin patinar de caliza micrítica poco silicificada con fantasmas de foraminíferos rellenos de esparita. Pátina constituida por restos de roca de caja y óxidos de Fe en pasta isótropa de cuarzo criptocristalino u ópalo.	Q y Ca	Núcleo CaO 21,77 SiO2 34,40 / Pátina CaO 4,85 SiO2 87,78

Tabla 1. Resumen de las características mineralógicas y petrográficas de las láminas de sílex.

Grupo de sílex opacos con texturas sedimentarias

Entre ellos encontramos texturas oolíticas y/o peloidales con distinta proporción de bioclastos. En general, existe una alta proporción de peloides frente a oolitos. En algunos casos se desarrolla una laminación debida a la alternancia de bandas claras y oscuras. Macroscópicamente se pueden distinguir dos grupos:

Sílex oolíticos y/o peloidales

Macroscópicamente se trata de sílex en los que la textura oolítica es el rasgo predominante, aunque en algunos ejemplares se pueden observar fósiles y otros aloquímicos. El tamaño de los oolitos es relativamente homogéneo, oscilando entre 0,1 y 0,5 mm. Pueden presentar aspecto terroso y color claro o rosado por la presencia de óxidos de hierro, lo que les confiere un aspecto moteado, o color marrón y brillo satinado.

Al microscopio se observan oolitos y pelets reemplazados por sílice con distinto grado de transformación, constituidos por núcleos de microcuarzo y envueltas externas de carbonatos y óxidos de hierro (fig.2a), y rodeados de cuarzo fibroso que dan una textura reticular. Es frecuente la aparición de bioclastos (fig.2b). La silicificación afecta fundamentalmente a la matriz y pelets mientras que los fósiles se encuentran menos transformados asociados a óxidos de hierro. Son frecuentes en la matriz los crecimientos de calcedonia.

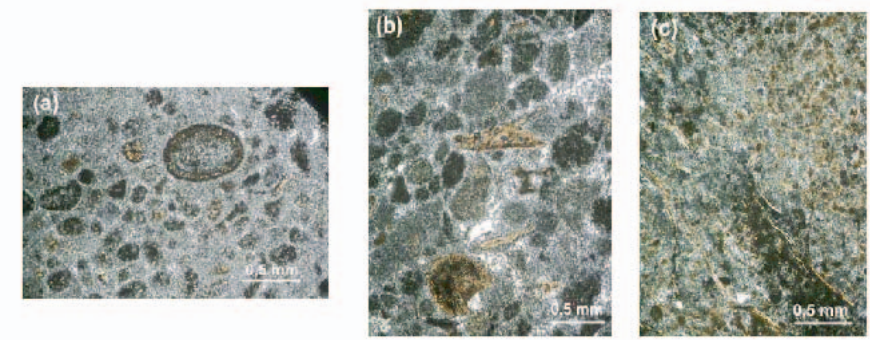


Figura 2. Principales características petrográficas de los sílex opacos con textura sedimentaria: a) sílex oolítico Nx4x; b) sílex peloidal Nx4x; c) sílex laminado Nx4x.

Con laminación o bandeado

Se trata de sílex en los que se aprecia una laminación a simple vista. El estudio petrográfico pone de manifiesto que este bandeado se debe, fundamentalmente, a la alternancia de bandas oolíticas/peloidales claras con otras donde abundan los fósiles y filamentos, dónde los bioclastos, mayoritariamente fragmentos de conchas, se encuentran orientados (fig.2c). La matriz se encuentra silicificada por microcuarzo con algunos crecimientos de calcedonia, mientras que los pelets y bioclastos se encuentran parcialmente transformados, conservando en gran medida los carbonatos. Asimismo encontramos cuarzo detrítico.

En la mayoría de ellos, la difracción de rayos X no permite apreciar el contenido en calcita, ya que está por debajo del límite de detección del aparato, y los análisis de SEM-EDAX confirman un alto contenido en SiO_2, por encima del 90% (Tabla 1).

Grupo de sílex con pátina

Presenta en todo el objeto una alteración de color claro y aspecto terroso que denominamos pátina. En sección transversal se observa un núcleo más oscuro rodeado por una corona de alteración cuyo espesor oscila entre 1 y 3mm, pudiendo llegar a 5mm, y que reproduce la forma del objeto (fig. 3c).

Al microscopio se observa que todos los sílex patinados pertenecen al mismo grupo litológico.

Se trata de una caliza micrítica poco transformada, con fantasmas de foraminíferos y fragmentos de conchas rellenos de esparita. La silicificación afecta a algunos fósiles que presentan en el centro rellenos de calcedonia, y algunos crecimientos de cuarzo en el relleno de los poros de la matriz (fig.3a y b).

Con luz paralela la pátina presenta un color claro (fig.3a). Con nícoles cruzados se observa cómo en la pátina disminuye progresivamente la proporción de carbonatos y encontramos restos de la roca de caja y óxidos de hierro rodeados de una masa prácticamente isótropa de sílice (microcuarzo u ópalo) con algunos crecimientos de calcedonia (fig.3b). En la zona alterada pueden conservarse fragmentos de conchas silicificados por cuarzo.

La estructura de la pátina es variable, pudiendo desarrollarse en sucesivos niveles con distinto grado de alteración de la roca de caja separados por delgadas capas isótropas.

Los análisis de DRX y SEM-EDAX ponen de manifiesto la presencia de calcita en el núcleo, mientras que en la pátina sólo se observa un enriquecimiento en sílice (fig. 3c y Tabla 1).

A partir de este análisis se ha realizado una clasificación de todas las láminas encontradas observándose que el conjunto de sílex patinados es minoritario (9%), el de sílex opacos con estructuras sedimentarias representa el 31% de las muestras y el grupo de sílex traslúcidos son el conjunto más numeroso, con un 60% de las muestras.

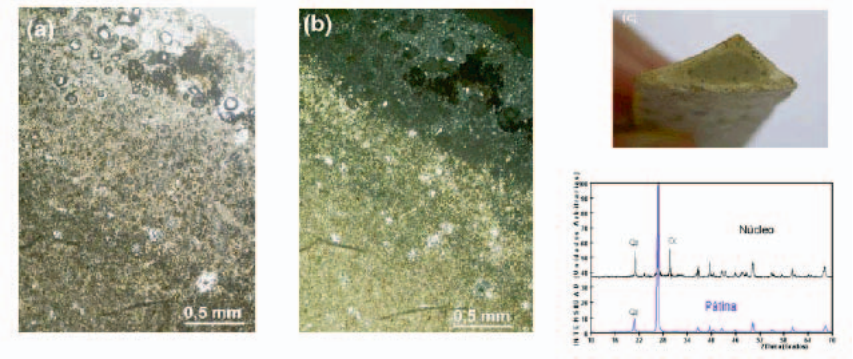


Figura 3. Características petrográficas de los sílex patinados: a) Núcleo y pátina con luz paralela. 4x; b) Núcleo y pátina con nícoles cruzados. 4x; c) DRX de núcleo y pátina.

IV. ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA DIFUSA VIS-SWIR

El agua es un constituyente importante de las distintas variedades de sílice presentes en el sílex, y dan lugar a bandas de absorción en el infrarrojo en las que se superpone la contribución de los distintos tipos de agua que lo componen. El agua en sus distintas formas, adsorbida, estructural o enlazada, en forma molecular y en grupos OH^-, está presente en distintas proporciones en microcuarzo, calcedonia y ópalo. La contribución del agua en forma molecular y/o en grupos estructurales silanol (H_2OSiOH) dan lugar a distintos modos vibracionales de absorción a 1400, 1900 y 2300 nm que corresponden al primer armónico OH, combinaciones de doblado de moléculas de agua y estiramiento de los grupos silanol respectivamente (Graetch, 1994). Si bien cada una de las fases puras presenta ciertos rasgos distintivos en las bandas de absorción (Flörke *et al.,* 1991, Graetch, 1994), en los espectros de sílex se superpone la contribución de cada fase en función de su abundancia, lo que dificulta su discriminación.

Los espectros se han registrado en las muestras sin calentamiento previo al objeto de no modificar las condiciones en que se realizaran las medidas durante las campañas de prospección, por lo que en cada espectro se incluye la contribución del agua absorbida que evidentemente puede variar entre muestras dependiendo de su grado de hidratación superficial.

La realización de experimentos de calentamiento con el objeto de caracterizar el contenido total de agua de las distintas fuentes de aprovisionamiento, se contempla en una fase ulterior del trabajo usando muestras de campo.

En el conjunto de espectros medidos las variaciones mas importantes se observan tanto en el albedo como en la profundidad de las bandas de absorción del agua, lo que es indicativo de la diversidad de materiales ya apuntado en su análisis microscópico. La presencia de fases opacas, identificadas como óxidos de hierro tipo goetita y hematites en algunos casos, o su presencia recubriendo los granos de microcuarzo ya identificados por petrografía son probablemente la principal causa de la variabilidad en el albedo.

Se ha realizado una clasificación de los espectros de reflectancia difusa de todos los sílex, utilizando todo el intervalo espectral (400-2500nm), el criterio de distancia de Mahalanobis y un criterio de agrupamiento lineal. De los distintos análisis realizados se presentan los resultados correspondientes a la extracción de cuatro grupos cuyos espectros promedio se indican en la fig.4.

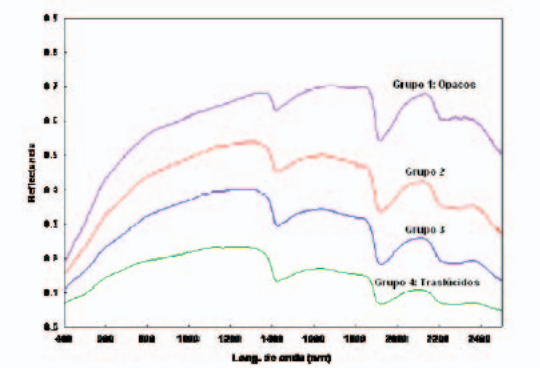


Figura 4. Reflectancia espectral promedio de cuatro tipos de sílex. Los clasificados por petrografía como opacos son los de máxima reflectancia, los traslúcidos los de mínima reflectancia y en los grupos 2 y 3 los de comportamiento espectral intermedio.

De los sílex incluidos en cada grupo se ha contrastado su inclusión en los grupos petrográficos descritos previamente, lo que ha permitido identificar lo siguiente:

El grupo con las reflectancias más bajas (fig.4) incluye mayoritariamente los sílex clasificados como traslúcidos por criterios petrográficos. Dentro de este conjunto se encuentra un número reducido de ejemplares en los que se observa la presencia de óxidos de hierro, hematites y goetita (fig. 5). Tanto los sílex traslúcidos homogéneos como los heterogéneos se clasifican en este mismo grupo de bajas reflectancias, ya que a pesar de su diferenciación macro y microscópica por la presencia de zonaciones de cuarzo de tamaño variable (glándulas y/o bandas) sus espectros se han medido en la masa más homogénea de cada objeto, razón que justifica que las respuestas espectrales observadas sean similares en ambos grupos. En todo caso en este conjunto de sílex su baja respuesta espectral se debe al efecto de oscurecimiento que producen los óxidos de hierro dispersos en la masa silícea, o recubriendo granos de peloides silicificados.

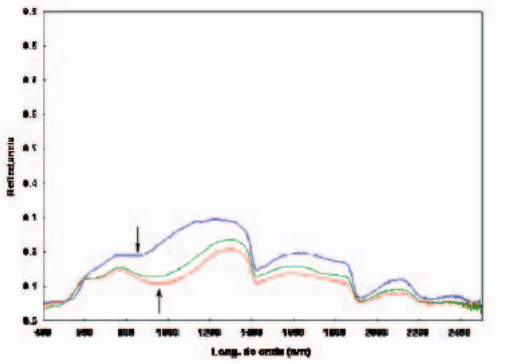


Figura 5. Reflectancia de sílex con goetita y hematites, pertenecientes al grupo petrográfico de sílex traslúcidos.

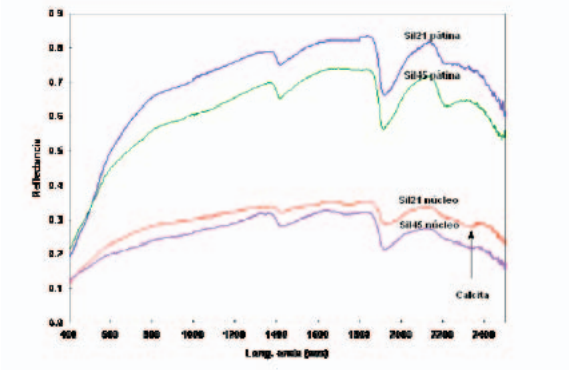


Figura 6. Diferencia en la respuesta espectral de la pátina y núcleo en sílex opacos con evidencia de calcita en la composición del núcleo.

Los sílex patinados, incluidos en el conjunto de los sílex opacos según criterios petrográficos, se discriminan claramente del resto por tener las reflectancias más altas (fig.4). La diferencia mineralógica y textural entre la pátina y el núcleo de estos objetos, caracterizada por petrografía y difracción de rayos-X (fig. 3c), también es identificada por sus diferentes respuestas espectrales, lo que permite identificar la presencia de calcita en el núcleo frente a la pátina (fig.6). Los objetos con respuestas intermedias entre las de los sílex traslúcidos y opacos se integran en los grupos 2 y 3 (fig.4) e incluyen el conjunto de sílex opacos con textura sedimentaria identificados por criterios petrográficos. La variabilidad espectral se debe a la presencia de estructuras oolíticas y bioclásticas, la diversidad de tamaños de granos y la presencia de sílex con bandeados. En ellos es también apreciable la contribución de la calcita (conservada en oolitos y restos fósiles) y/o goetita. Los resultados de las clasificaciones petrográfica y espectral se indica en la Tabla 2.a. Los 15 sílex opacos con texturas sedimentarias son los que presentan respuestas espectrales mas dispersas, distribuyéndose casi en la misma cantidad entre G2, G3 y G4 (fig. 4). El resto de las tipologías descritas por criterios petrográficos se asocian a grupos espectrales bien diferenciados (Tabla 2.a).

Las absorciones específicas debidas a H_2O y OH^- se han analizado tras la eliminación del espectro continuo en el rango 1300-2500 nm; los espectros filtrados de la influencia de otras fases se han clasificado siguiendo el mismo criterio de distancia y agrupamiento. El resultado de esta nueva clasificación cruzada con la petrográfica se indica en la Tabla 2.b. Se observa que el conjunto C4, que presenta las bandas de absorción más bajas, incluye todos los sílex opacos con pátina y un 50% de los sílex opacos con texturas sedimentarias. Los sílex con mayor cantidad de agua corresponden a los grupos C1 y C2, e incluyen los sílex traslúcidos homogéneos y el 50% de los heterogéneos. En el grupo C3 (Tabla 2.b) se incluyen tanto sílex opacos como traslúcidos.

	Clasificación con espectros totales				Clasificación sin el espectro continuo			
	G1	G2	G3	G4	C1	C2	C3	C4
Traslúc.heterogéneos	0	1	5	20	12	8	4	2
Traslúc.homogéneos	0	0	0	6	4	1	1	0
Opacos patinados	4	1	0	0	0	0	0	5
Opacos sediment.	1	4	6	4	1	0	6	8
Totales	5	6	11	30	17	9	11	15

Tabla 2. Resultados de la clasificación a partir de los espectros totales (a) o eliminando el continuo (b).

De las relaciones descritas se deduce que, además del efecto de reducción en la respuesta espectral debida a la presencia de óxidos de hierro, el incremento en el contenido en agua en todas sus formas, debido a la distinta capacidad de acumulación de agua en las fases silíceas (microcuarzo, calcedonia, ópalo), también contribuye a reducir el albedo en los sílex estudiados.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Todos los sílex estudiados presentan texturas sedimentarias, algunos bien conservadas y observables a simple vista, como en el caso de los sílex opacos, o relictas y sólo observables al microscopio como en el caso de los sílex translúcidos. La mayoría de ellas corresponden a texturas peloidales y oolíticas, con mayor o menor contenido bioclástico y otros rasgos sedimentarios como laminación o bandeado.

La silicificación es prácticamente total en el caso de los sílex translúcidos, que podemos considerar sílex puros con más del 95% de SiO_2 (SEM-EDAX); mientras que los sílex opacos con textura sedimentaria pueden presentar distinto grado de silificación, con $CaCO_3$ como única impureza, aunque en general no detectable por rayos X.

Los sílex patinados presentan una capa externa de alteración química secundaria. Corresponden a rocas carbonatadas (micrita con foraminíferos) menos silicificadas que en los anteriores grupos. Tanto los análisis de rayos X como los de SEM confirman que en la pátina hay un enriquecimiento en SiO_2 respecto del núcleo.

La espectrometría de reflectancia difusa VIS-SWIR ha demostrado ser muy útil para la identificación de calcita y óxidos de hierro en las láminas de sílex, evitando la necesidad de toma de muestras. Los espectros de reflectancia son susceptibles de análisis diversos, tanto utilizando el espectro total como los segmentos espectrales específicos producidos por cada una de las fases. Los contenidos en óxidos de hierro y agua total (debida a las fases silíceas que constituyen el sílex) son las fases más importantes responsables de la variabilidad espectral entre muestras, y se han aplicado para la realización de clasificaciones.

Todos los análisis indican que las piezas estudiadas son sílex formados por un proceso de reemplazamiento de rocas calizas de tipo peloidal u oolítico. El microcuarzo reemplaza probablemente micrita, mientras que calcedonia y macrocuarzo rellenan huecos o reemplazan esparita. Los fósiles no presentan un grado de conservación que permita su identificación.

En el entorno local podemos encontrar afloramientos de calizas de distintas edades, todos ellos portadores de sílex, que podrían constituir la fuente principal de aprovisionamiento de la mayoría de las piezas estudiadas.

En primer lugar, el yacimiento de La Pijotilla se asienta sobre los materiales neógenos de la Cuenca del Guadiana. Son sedimentos de facies fluviales, que localmente culminan con facies lacustres constituidas por depósitos carbonatados laminados (atribuidos al Mioceno), y en los que se ha observado la presencia de cherts (Díaz del Olmo, comunicación personal).

Estos materiales yacen discordantes sobre el Paleozoico de Sierra Morena, entre los que se encuentran extensos afloramientos cámbricos que han sido divididos en varias cubetas tectosedimentarias como la de Córdoba o Alconera. En ambas se ha distinguido una Unidad Carbonatada en el Cámbrico Inferior que contiene niveles de calizas con sílex (Fm. Santo Domingo y Fm. Halconera, respectivamente) (Perejón *et al.,* 2004).

Sin embargo, no es descartable que los sílex oolíticos puedan provenir de los afloramientos Jurásicos del Subbético de las Cordilleras Béticas (Bustillo y Bustillo, 1997), ya que se ha documentado la existencia de este tipo de piezas en distintos yacimientos arqueológicos de la Cuenca del Guadalquivir y del Guadiana (Nocete *et al.,* 2006).

Por otra parte, el análisis de la relación entre las texturas observadas y sus respuestas espectrales permitirán establecer un criterio para la clasificación por métodos no destructivos del conjunto de sílex de La Pijotilla y la prospección efectiva de los recursos de Tierra de Barros.

BIBLIOGRAFÍA

BUSTILLO, M.A. y BUSTILLO, M. 1997: "Geochemistry of Radiolarites from the Betic Cordillera: Implications for source determination of raw material in Archaeology". En A. Ramos-Millán and M.A. Bustillo (Eds.). *Siliceous rocks and culture, Actas del VI Flint International Symposium.* Madrid: 361-370.

CLARK, R.N. 1999: "Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: *Manual of Remote Sensing* vol. 3. Renz. A (Ed). New York.

ELIAS, M. y MENU, M. 2000: "Experimental characterization of a random metallic rough surface by spectrophotometric measurements in the visible range". *Optics Communications* 180: 191-198.

ELIAS, M.; SIMONOT, L. Y MENU, M. 2001: "Bidirectional reflectance of a diffuse background covered by a partly absorbing layer". *Optics Communications* 191: 1-7.

ELIAS, M. y SIMONOT, L. 2004: "Bidirectional reflectance of a varnished painting. Part 1: Influence of the relative indices without using the approximations of Saunderson correction–exact computation". *Optics Communications* 231: 17-24.

ELIAS, M. y SIMONOT, L. 2004: "Bidirectional reflectance of a varnished painting. Part 2: comparison between gye effects of the refractive indices, of the surface states and of the absorption of the varnish – experiments and simulations". *Optics Communications* 231: 25-33.

FLÖRKE, O.W.; GRAETSCH, H.; MARTIN, B.; RÖLLER, K. y WIRTH, R. 1991: "Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure". *N Jharb Min Abh* 163: 19-42.

GRAETSCH, H. 1994: "Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals". In: Heaney, P.J.; Prewitt, C.T. y Gibbs, G.V. (Eds.). Silica: physical behaviour, geochemistry and materials applications. *Reviews in Mineralogy,* vol. 29: 209-232.

GARCIA SANJUAN, L. y HURTADO, V. 1997: "Los inicios de la jerarquización social en el Suroeste de la Peninsula Ibérica (c.2500-1700 a.n.e). Problemas conceptuales empíricos". Homenaje a la Drª Gil Mascarell. *Saguntum* 30: 135-152

HUNT, G.R. 1977: "Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared". *Geophysics,* vol 42 (3): 501-513.

HUNT, G.R. 1979: "Near Infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration minerals". *Geophysics* vol 44 (12): 1974-1986.

HURTADO, V.; MONDÉJAR, P. y PECERO, J.C. 2000: "Excavaciones en la Tumba 3 de La Pijotilla" Homenaje a E. Dieguez Luengo. *Extremadura Arqueológica VIII*. Junta de Extremadura.

MILIANI, C.; ROSI, F.; BURNSTOCK, A.; BRUNETTI, B.G. Y SGAMELLOTTI, A. 2007: “Non-invasive in-situ investigations versus micro-sampling: a comparative studdy on a Renoirs painting”. *Applied Physics A. Material Science & Processing.*

NOCETE, F.; SAEZ, R.; NIETO, J.A.; CRUZ-AUÑÓN, R.; CABRERO, R.; ÁLEX, E.; BAYONA, M. y INÁCIO, N. 2006: “Las relaciones centro-periferia en el valle del Guadalquivir del III milenio ane. La circulación de hojas de caliza oolítica silicificada”. *Revista Tabona*14: 33-62.

PADELETTI, G.; FERMO, P.; GILARDONI, S. y GALLI, A. 2004: “Technological study of ancient ceramics produced in Casteldurante (central Italy) during the Renaissance”. *Applied Physics A. Material Science & Processing* 79: 335-339.

PICOLLO, M.; BACCI, M.; CASINI, A.; LOTTI, F.; PORCIANI, S.; RADICATI, B. y STEFANI, L. 2000: “Fiber optics reflectance spectroscopy: a non destructive technique for the analysis of works of art”. En Martellucci *et al.* (Eds.). *Optical Sensorsand Microsystems: New Concept, Materials.* Technologies Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York: 259-265.

PEREJÓN, A.; LIÑÁN, E. y QUESADA, C. 2004: “Cámbrico de la Zona de Ossa Morena”. En J.A. Vera (Ed.). *Geología de España*. SGE-IGME. Madrid: 166-172.

POLVORINOS, A.; HURTADO V.; HERNÁNDEZ M.J. y ALMARZA, J. 2002: “Caracterización mineralógica del ajuar del enterramiento calcolítico (tumba 3) de La Pijotilla (Badajoz)”. En C. Roldán (Ed.): *Actas del IV Congreso Nacional de Arqueometría (Valencia 2001) .*Universidad de Valencia: 315-321.

ESTUDIO PIXE Y PIGE DE GEMAS EN EL TESORO TORREDONJIMENO

PIXE AND PIGE STUDY OF GEMS IN TORREDONJIMENO TREASURE

P.C. GUTIÉRREZ[1], A. PEREA[2], M.D. YNSA[1], A. CLIMENT-FONT[1,3]

(1) Centro de Micro-Análisis de Materiales. Universidad Autónoma Madrid. 28049 Madrid.
(2) Instituto de Historia CCHS, CSIC. Albasanz 26-28. 28037 Madrid.
(3) Dpto. Física Aplicada C-12, Universidad Autónoma Madrid. 28049 Madrid.

RESUMEN

El tesoro de Torredonjimeno (TDJ) es, junto al tesoro de Guarrazar uno de los pocos ejemplos de orfebrería de la época visigoda que se conservan actualmente; se encuentra distribuido en tres museos diferentes: Museo de Arqueología de Cataluña (MAC), Museo Arqueológico y Etnológico de Córdoba (MAECO) y Museo Arqueológico de Madrid (MAN). Está constituido por cruces, cadenas, fragmentos de diferentes objetos y gemas sueltas y montadas en cruces, fragmentos y letras colgantes. Con el fin de identificar las piedras preciosas utilizadas por los orfebres en la fabricación del tesoro de TDJ y de comparar los resultados obtenidos con los del tesoro de Guarrazar, se han analizado las gemas presentes en varias piezas utilizando técnicas con haces de iones, en concreto las técnicas PIXE (Particle Induced X-ray Emission) y PIGE (Particle Induced γ-ray Emission).

ABSTRACT

The Torredonjimeno (TDJ) treasure is, with the Guarrazar treasure, one of the few examples of the Visigothic jewellery left today; it is shared between three different museums: Museo de Arqueología de Cataluña (MAC), Museo Arqueológico y Etnológico de Córdoba (MAECO) and Museo Arqueológico de Madrid (MAN). It is composed of crosses, chains, fragments of objects and gemstones isolated and mounted on crosses, fragments and pendant letters. In order to identify the precious stones employed by the jewellers of the TDJ treasure and to compare the results obtained with those of the Guarrazar treasure, we have analysed the gems set on several objects using ion beam techniques, in particular PIXE (Particle Induced X-ray Emission) and PIGE (Particle Induced γ-ray Emission) methods.

Palabras clave: PIXE, PIGE, piedras preciosas, tesoro de Torredonjimeno, tesoro de Guarrazar, orfebrería visigoda.

Key words: *PIXE, PIGE, gemstones, Torredonjimeno treasure, Guarrazar Treasure, Visigothic jewellery.*

INTRODUCCIÓN

El período visigodo presentó una orfebrería con características muy específicas, el ejemplo más importante que representa su alto nivel es el tesoro de Guarrazar. En esta misma época (siglo VII) se sitúa el tesoro de TDJ, desgraciadamente es menos conocido por los arqueólogos e historiadores debido a su menor calidad de elaboración y a que muchas de las piezas se encuentran fragmentadas. Fue hallado de forma fortuita en Jaén en el año 1926, enterrado bajo un olivo; el hallazgo consistía en cruces, cadenas, cientos de fragmentos de diferentes objetos y gemas procedentes de cruces y letras colgantes (Casanovas i Romeo, 2003: 15). El conjunto de gemas presentes en estas piezas constituye un ejemplo de la época visigoda, útil para conocer su tecnología, los medios de abastecimiento comercial de las gemas, teniendo como referencia fundamental el tesoro de Guarrazar.

El presente estudio se realizó en la línea de micro-haz externo del Centro de Micro-Análisis de Materiales (CMAM) de la Universidad Autónoma de Madrid, dedicada principalmente a estudios de Arte y de Patrimonio Histórico. Para el análisis de las diversas muestras, se emplearon las técnicas no destructivas PIXE y PIGE. Ambas técnicas ofrecen considerables ventajas en el campo de la arqueometría, ya que no requieren preparación de muestras, se pueden realizar a presión atmosférica y permiten la determinación de la composición química de una gran variedad de elementos con alta sensibilidad. En el caso de las gemas pertenecientes al tesoro TDJ, las dos técnicas se complementan y resultan bastante útiles teniendo en cuenta que las muestras se componen tanto de elementos ligeros como Be, Na, Li, Al o Si (para lo cual se utilizó la técnica PIGE), como de elementos de peso molecular intermedio que se encuentran presentes a manera de impurezas, entre ellos Ti, Cr, Mn o Fe (usándose en este caso la técnica PIXE). La determinación de la composición de los elementos junto con la inspección visual permite identificar y diferenciar las gemas de los vidrios entre toda la serie de piedras estudiada. El término “piedra” se ha utilizado en este trabajo para referirse a todo material usado para adornar las piezas, dentro de este grupo se incluyen las gemas (o piedras preciosas) y los vidrios, estos últimos se empleaban para simular la apariencia de las gemas.

MUESTRAS

El análisis del tesoro TDJ es el resultado de la colaboración entre el CMAM, el Instituto de Historia CCHS-CSIC, el MAC, el MAECO y el MAN. Tomando como base los diferentes materiales que componen este tesoro, se ha realizado anteriormente el estudio sobre el metal en Perea *et al.,* 2006: 638 y en Enguita *et al.,* 2006: 110, el vidrio (Perea *et al.,* 2007) y en el presente artículo, se muestran los resultados para las gemas.

En su origen, el tesoro TDJ estaba compuesto por cruces adornadas con gemas, cruces lisas de oro y de plata dorada y coronas que los reyes y los nobles ofrecían a importantes iglesias adornadas con gemas, letras colgantes y cadenas de las cuales se suspendían las coronas, que no se han conservado. Actualmente, debido a las desafortunadas circunstancias del hallazgo y dispersión de las piezas, los objetos aparecen fragmentados y muy deteriorados, aunque se conserva un número considerable de pequeñas cruces completas, cadenas, seis cruces grandes y las letras tabicadas de, al menos, dos coronas regias.

En total, se estudiaron 16 objetos que incluían cabujones, letras colgantes, cruces completas y fragmentadas, y una abrazadera. Se adquirieron espectros de las piedras que adornaban cada una de las piezas. Por ejemplo, para el brazo de una cruz (número inventario MAC-25094), se analizaron las 5 piedras del reverso y las 6 del anverso (Figura 1). Siguiendo la misma metodología, se adquirieron espectros de 49 piedras del tesoro TDJ. En la tabla 1 se nombran los objetos y la localización de las piedras estudiadas para cada uno de ellos, el color asignado por observación visual y la identificación del material, determinada de acuerdo a las composiciones químicas obtenidas y a la inspección visual.

Figura 1. Muestra MAC-25094, brazo de una cruz. A la derecha, fotografía del reverso del brazo con 5 piedras. A la izquierda, fotografía del anverso con 6 piedras.

CONDICIONES EXPERIMENTALES

La medida de las distintas piezas fue llevada a cabo en la línea de microhaz externo del CMAM (Enguita, 2004: 384) ubicada a 15º con respecto al eje del acelerador tandetron de 5 MV (Climent-Font, 2004: 400). Antes de llegar a la muestra, situada al aire, el haz de protones de 3 MeV usado en el presente trabajo cruzó una ventana de salida de 8 µm de Kapton y 4 mm de aire, por tanto, la energía incidente en la superficie de la muestra fue de 2.822 MeV y el tamaño del haz fue de alrededor de 60 µm. Las técnicas PIXE y PIGE se llevaron acabo simultáneamente. Los espectros de PIXE se recogieron usando un detector Si(Li) de 80 mm^2 de área activa fabricado por Gresham, colocado a 45º con respecto al haz y a 32 mm de la muestra. Este detector se utilizó sin filtro y se empleó para detectar los elementos presentes en las piedras a partir del potasio ya que los rayos X de los elementos aún más ligeros son absorbidos por el aire. Los espectros PIGE se recogieron usando un detector Canberra de Ge (Ultra LEGe) de 30 mm^2 de área, colocado a 52º del haz y a 72.5 mm de la muestra. Para este detector se seleccionó la ganancia adecuada para ver los rayos gammas de los elementos ligeros presentes (Al, Si, Be, Li y Na). Todos los espectros correspondientes a las diversas irradiaciones puntuales, fueron recogidas usando el sistema de adquisición Genie 2000 (Canberra Industries Inc., USA). En todos los casos, el tiempo de adquisición fue de 500s y la corriente del haz aproximadamente de 2 nA.

El análisis cuantitativo de los espectros de PIXE fue realizado con el programa GUPIX (Maxwell, 1989: 218); para los espectros de PIGE se realizó un análisis semicuantitativo determinando las áreas bajo la curva de los picos de interés (Na 439 keV, Al 1015 keV y Si 1774 keV) mediante el programa informático comercial de gráficos ORIGIN y se identificaron los picos de Li a 473 keV y de Be a 3454 keV. En ciertos casos la suma total de la composición elemental es diferente del 100%, debido a que la dosis no fue constante durante todo el experimento. Para ambas técnicas, se utilizaron los patrones de referencia NIST (National Institute of Standards and Technology) 621, 610, 1412, 2710, 2711 y 8704 para verificar el cálculo de las concentraciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la confrontación entre la composición elemental encontrada y la observación visual, es decir el color de las 49 piedras estudiadas, se determinó que 29 de ellas correspondían a vidrios de diferentes tipos (vidrios sódico-cálcicos y de plomo), 17 que fueron asignadas como gemas (Tabla 1) y 3 muestras no pudieron ser identificados ya que su composición no se corresponde con la de una gema o un vidrio, lo más probable es que se traten de vidrios con un grado de deterioro importante. Es importante resaltar el

NÚMERO INVENTARIO	OBJETO	PUNTO DE ANÁLISIS	COLOR (OBS. VISUAL)	ASIGNACIÓN MATERIAL
MAECO- 29990	cabujón suelto cuadrangular	cabujón	verde	esmeralda
MAECO- 29961	cabujón romboidal sin engaste	cabujón romboidal	morado	granate
MAC- 30682	letra V tabicada con colgantes	piedra incrustado en letra "V"	rojo	granate
		chatón circular colgante	azul	vidrio
		chatón cuadrado colgante	azul	indeterminado
		colgante gema ovalada sin engastar	rosado	cuarzo - A
MAC- 25344	cruz con cabujones	chatón romboidal brazo sup.	opaco	vidrio
		chatón circular brazo sup.	morado	vidrio
		chatón central ovalado	ámbar	cuarzo - A
		chatón circular brazo inf.	blanco	perla
		chatón ovalado brazo inf.	rosado	cuarzo - A
		chatón circular brazo izq.	rojo	vidrio
		chatón circular brazo izq.	verde	vidrio
		chatón circular brazo der.	verde	vidrio
		chatón circular brazo der.	rojo	vidrio
		chatón pequeño central izq. arriba	rojo	vidrio
		chatón pequeño central izq. abajo	azul oscuro	vidrio
		chatón pequeño central der. arriba	azul oscuro	vidrio
		chatón pequeño central der. abajo	verde	vidrio
		colgante brazo izq. sin engaste	opaco	esmeralda
		colgante inferior izq. sin engaste	transparente	indeterminado
		colgante brazo der. sin engastar	opaco	esmeralda
MAC- 25097	fragmento de cruz con cabujón	cabujón con cruz tallada	morado	vidrio
MAECO- 29986	fragmento de cruz con inscripción: OFFERET	chatón circular	blanco	perla
MAC- 25222	cruz tabicada	piedra central en cruz	verde	esmeralda
MAC- 30685	cruz tabicada	piedra central en cruz	verde	vidrio
MAC- 30683	cruz tabicada	piedra central en cruz	rosado	cuarzo - A
MAC- 25094	brazo de cruz con cabujones en anverso y reverso	reverso, chatón pequeño izq sup	ámbar	vidrio
		reverso, chatón pequeño der sup	verde	vidrio
		reverso, chatón circular centro arriba	rosado	cuarzo- A
		reverso, chatón circular centro abajo	rosado	cuarzo - A
		reverso, chatón cuadrado inf	azul	vidrio
		anverso, chatón pequeño izq sup	verde	vidrio
		anverso, chatón pequeño der sup	verde	vidrio
		anverso, chatón circular sup	azul	zafiro
		anverso, chatón circular centro arriba	blanco	perla
		anverso, chatón circular centro abajo	verde oscuro	vidrio
		anverso, chatón cuadrado inf	negro	cuarzo - C
MAECO- 30101	colgante esférico	colgante esférico	verde	vidrio
MAC- 25075	fragmento de cruz con inscripción: TAS	cruz TAS	opaco	indeterminado
MAC- 25086	colgante en forma de Alfa	alfa. Chatón sup	verde	vidrio
		alfa. Chatón inf izq	verde	vidrio
		alfa. Chatón inf der	verde	vidrio
MAC- 25095	fragmento de cruz con cabujones	chatón circular sup	opaco	vidrio
		chatón cuadrado medio	negro	vidrio
		chatón circular inf	blanco	perla
		chatón pequeño lateral der	azul	vidrio
MAC- 15079	letra E tabicada con colgantes cabujón	cabujón cuadrado	verde claro	vidrio
MAN- 62190	colgante con dos cabujones	chatón circular colgante	negro	vidrio

Tabla 1. Descripción de los puntos de análisis, color de piedras, objeto estudiado, y asignación de material.

alto porcentaje (59%) de vidrios (utilizados para simular la apariencia de piedras preciosas) que se encontraron con relación a las gemas, hecho que demuestra la menor calidad de materiales utilizados para la producción del tesoro TDJ si lo comparamos con el tesoro de Guarrazar, donde se encontró aproximadamente un 13% de vidrios.

En la tabla 2 se muestran las composiciones (con su correspondiente límite de detección para cada óxido o elemento) obtenidas para las piedras preciosas encontradas. La composición de los óxidos se expresa en porcentaje en peso, mientras que las composiciones elementales en ppm. Cada piedra preciosa tiene una formula química específica que permite su identificación (Webster, 1983). De esta forma, se identificaron 4 perlas de nácar ($CaCO_3$), 1 granate de tipo almandino ($Fe_3Al_2(SiO_4)_3$) y 1 de tipo piropo-almandino (mezcla de $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ y $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$), 1 zafiro (Al_2O_3, con trazas de Fe y Ti), 4 esmeraldas ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$ con trazas de Cr) y 7 cuarzos (SiO_2), entre ellos 5 amatistas (SiO_2, con trazas de Fe) y 1 calcedonia (SiO_2, con trazas de Zn). En la figura 2 se presenta a modo de ejemplo a) el espectro PIXE y b) los picos de los elementos Na, Al, Li y Be en el espectro PIGE de una esmeralda; la presencia de Na y Be, en el espectro PIGE, y de Cr y Fe, en el espectro PIXE, fueron determinantes para asignar la piedra como esmeralda. Con respecto a las perlas y el zafiro, el alto contenido de Ca y Al respectivamente, fue concluyente para su atribución; los granates mostraron un contenido en Al, Si y Fe característicos para este tipo de gema y finalmente, para el cuarzo, además de la elevada cantidad de Si, la presencia de Fe y Zn y la observación del color permitió diferenciar entre amatistas, calcedonia y cristal de roca (Calligaro *et al.,* 2001a: 275).

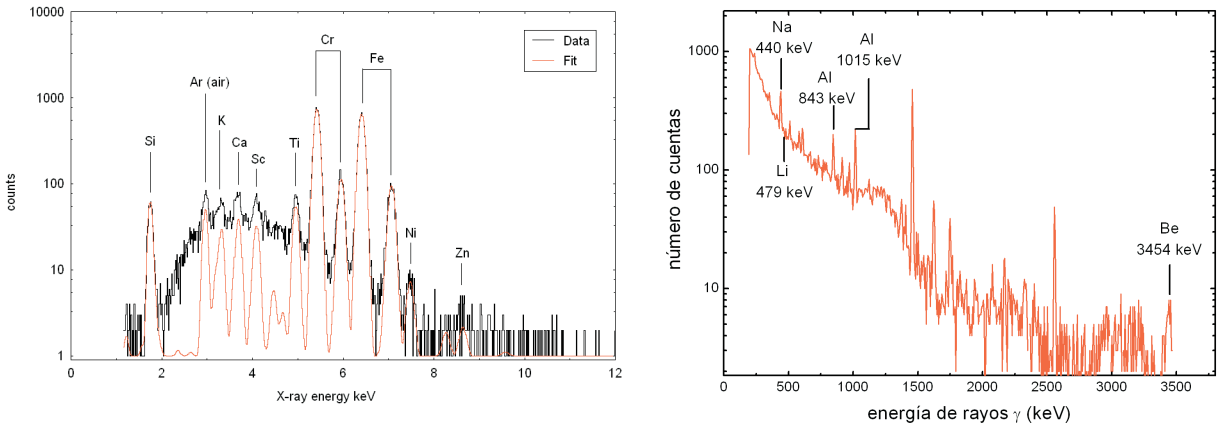


Figura 2. a) Espectro PIXE y b) Espectro PIGE de esmeralda MAECO-29990 del tesoro TDJ.

La comparación de los resultados obtenidos en el presente trabajo con los reportados para el tesoro de Guarrazar en Cózar y Sapalski, 2001: 241 y en Calligaro *et al.,* 2001a: 275, muestran que si bien es cierto que se encuentran el mismo tipo de gemas, es decir zafiros (292), perlas de nácar (416), granates (muchos), cuarzos (59) y esmeraldas (26); la cantidad de ellas es mucho mayor para el tesoro de Guarrazar que para el de TDJ. En cuanto a la proporción de vidrios con respecto a las gemas, se evidencia un comportamiento contrario entre los dos tesoros, mientras en el tesoro de Guarrazar la gran mayoría de las piedras son gemas en el tesoro TDJ son vidrios. Sin embargo es importante tener en cuenta que a diferencia del tesoro de Guarrazar, el tesoro TDJ cuenta con un número muy inferior de piezas.

El caso de las esmeraldas encontradas resulta muy particular, debido a que estas piedras eran muy raras en la época. La comparación de los elementos traza presentes en estas 4 gemas, en particular el Na, con las esmeraldas encontradas en el tesoro de Guarrazar muestra que dos de ellas tienen la misma proce-

dencia, es decir las minas de Habachtal, localizadas actualmente en Austria, con valores cercanos al 2% de NaO (Calligaro *et al.,* 2001b: 287), sin embargo de las otras dos no se conoce aún su origen. La comparación de la composición química de las esmeraldas arqueológicas con esmeraldas modernas de procedencia conocida, permite dar información sobre su origen. Los estudios preliminares que se realizan actualmente en el CMAM, parecen ubicar el origen de las otras dos esmeraldas en territorio peninsular.

En un contexto histórico, los resultados podrían sugerir una disminución del nivel económico visigodo o bien la imposibilidad del taller o talleres de fabricación del tesoro de TDJ para acceder a materias primas importadas.

INVENTARIO	LOCALIZACIÓN	MATERIAL	Al_2O_3	SiO_2	Na_2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	FeO	Ni	Zn	Ga	Sr
MAECO-29990	cabujón	esmeralda	-	-	1,9	-	-	260	3530	-	0,50	50	-	-	-
MAECO-29961	cabujón romboidal	granate almandino	9	31	-	5,1	670	117	-	13400	35,30	-	-	-	-
MAC-30682	letra "V"	granate piropo-almandino	11	48	-	6,3	2480	160	-	3030	13,4	33	38	-	-
	colgante	amatista	-	62	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-
MAC-25344	chatón central	cuarzo	-	43	-	0,2	-	-	-	30	0,16	-	-	-	-
	chatón circ. brazo inf.	perla de nácar	-	42	-	114	-	-	-	350	-	110	-	-	2300
	chatón oval brazo inf.	amatista	-	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	colgante izq.	esmeralda	9	50	0,6	0,1	-	126	130	20	0,18	-	100	-	-
	colgante der.	esmeralda	9	62	0,7	-	-	210	380	40	0,26	30	90	-	-
MAC-25222	central en cruz	esmeralda	4	23	1,2	0,1	-	120	260	-	0,31	-	35	-	-
MAC-29986	chatón circular	perla de nácar	-	37	-	80	70	-	-	-	0,06	100	80	-	700
MAC-30683	central en cruz	amatista	-	13	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
MAC-25095	chatón circ. Inferior	perla de nácar	-	37	-	90	-	-	-	-	-	100	-	-	990
MAC-25094	chatón circ. centro arriba	amatista	-	70	-	0,1	80	-	-	-	-	-	-	-	-
	chatón circ. centro abajo	amatista	-	58	-	0,1	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
	chatón circ. superior	zafiro	37	-	-	-	100	-	-	-	0,09	-	-	80	-
	chatón circ. centro arriba	perla de nácar	-	19	-	100	-	-	-	-	-	182	-	-	880
	chatón cuad. inf.	calcedonia	-	49	-	0,7	90	-	-	30	0,05	-	1960	-	-
Límites de detección			2	10	0,5	0,03	50	50	30	20	0,01	20	30	30	150

Tabla 2. Composiciones químicas obtenidas por PIXE y PIGE de las gemas del tesoro TDJ. La composición de los óxidos se expresa en porcentaje en peso, mientras que las composiciones elementales en ppm.

CONCLUSIONES

Las técnicas PIXE y PIGE han permitido identificar las gemas del TDJ, por medio de la determinación de la composición química y con ayuda de la observación visual.

De las piedras estudiadas, se determinó que la mayor proporción eran vidrios demostrando el difícil acceso a la materia prima gemológica en la producción del tesoro TDJ.

Las 18 gemas encontradas fueron clasificadas dentro del grupo de piedras preciosas como perlas de nácar, cuarzos (amatistas, corindón y cuarzo), zafiros, granates (almandino y piraldino) y esmeraldas.

La comparación de los dos tesoros visigodos pone en evidencia la disparidad existente en la disponibilidad de materia prima con que contaron los orfebres o talleres responsables de la fabricación en uno y otro caso. Así, se observa una disminución importante en la cantidad de gemas naturales utilizadas en el tesoro TDJ con respecto al tesoro de Guarrazar, que fueron sustituidas por vidrios artificiales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los responsables del MAC, MAECO y MAN por permitir el estudio de las piezas del tesoro Torredonjimeno, al equipo técnico del CMAM por el soporte técnico y el manejo del acelerador, al Dr Thomas Calligaro por su ayuda en la discusión de resultados y al Dr Rafael Pablo Lozano Fernández por proporcionaros las muestras de esmeraldas españolas, necesarias para comenzar el estudio sobre el origen de las gemas del tesoro TDJ. Una de las autoras, P.C. Gutiérrez, desea agradecer a la Residencia de Estudiantes de Madrid por proporcionarle el ambiente propicio para su desarrollo científico e intelectual.

BIBLIOGRAFÍA

CALLIGARO, T.; DRAN, J.C.; POIROT, J.P. 2001a: “Del estudio analítico de las gemas: Estudio por acelerador de las gemas del Museo Nacional de la Edad Media, Cluny”. En A. Perea (ed): *El tesoro visigodo de Guarrazar.* CSIC. Madrid: 275-286.

CALLIGARO, T.; POIROT, J.P.; ANTOINE, E.; PEREA, A. 2001b: “Del estudio analítico de las gemas: El enigmático origen de las esmeraldas del tesoro”. En A. Perea (ed): *El tesoro visigodo de Guarrazar*. CSIC. Madrid: 287-294.

CASANOVAS I ROMEU, A. 2003: “El Tresor de Torredonjimeno (Jaén). Aspectes tècnics i descriptius”. En A. Casanovas, J. Rovira i Port (eds): *Torredonjimeno, Tresor, Monarquia i Litúrgia.* Museu d’Arqueologia de Catalunya:15-29.

CLIMENT-FONT, A.; PÁSZTI, F.; GARCÍA, G.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.T.; AGULLÓ, F. 2004: “First measurements with the Madrid 5MV tandem accelerator”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219-220: 400.

CÓZAR, J.S.; SAPALSKI, C. 2001: “Del estudio analítico de las gemas: Gemas del Museo Arqueológico Nacional y Palacio Real, Madrid”. En A. Perea (ed): *El Tesoro visigodo de Guarrazar.* CSIC. Madrid: 241-273.

ENGUITA, O.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.T.; GARCÍA, G.; CLIMENT-FONT, A.; CALDERÓN, T.; GRIME, G.W. 2004: “The new external microbeam facility at the 5 MV Tandetron accelerator laboratory in Madrid: beam characterisation and first results”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219-220: 384-388.

ENGUITA, O.; CLIMENT-FONT, A.; GUTIÉRREZ, P.C.; YNSA, M.D. 2006: "Estudios arqueométricos mediante técnicas de análisis con haces de iones en el microhaz externo de CMAM". *Innovación tecnológica en conservación y restauración del Patrimonio.* Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UAM. Madrid: 110-127.

MAXWELL, J.A.; CAMPBELL, J.L.; TEESDALE, W.J. 1989: “The Guelph PIXE software package”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 43: 218.

PEREA, A.; CLIMENT-FONT, A.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.; ENGUITA, O.; GUTIÉRREZ, P.C.; CALUSI, S.; MIGLIORI, A.; MONTERO, I. 2006: “The visigothic treasure of Torredonjimeno (Jaén, Spain): A study with IBA techniques”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249: 638-641.

PEREA, A.; MIGLIORI, A.; GARCÍA-HERAS, M.; CLIMENT-FONT, A.; GUTIERREZ, P.C.; ENGUITA, O.; MONTERO, I. 2007: “Vidrios visigodos según los análisis realizados en los tesoros de Guarrazar (Toledo) y Torredonjimeno (Jaén)”. En *Vidrio de la Alta Edad Media y Andalusí. Jornadas Nacionales, San Ildefonso (2-4 Noviembre 2006)*: 325-335.

WEBSTER, R. 1983: *Gems, their source, description and identification.* Butterworths. London.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN ARQUEOMETALÚRGICA EN ESPAÑA: UNA APROXIMACIÓN BIBLIOMÉTRICA

PRESENT STATE OF ARCHAEOMETALLURGICAL RESEARCH IN SPAIN: A BIBLIOMETRICAL APPROACH

MANUEL ELEAZAR COSTA CARAMÉ

Becario de Investigación Predoctoral (Grupo de Investigación ATLAS (HUM-694)).
Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla.
C/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla. eleazarcosta@us.es

RESUMEN

El presente trabajo realiza un estudio de evolución y de la situación actual de la investigación arqueometalúrgica en España a través de las publicaciones españolas de los últimos 30 años.

ABSTRACT

This paper faces the study of the evolution and present state of arqueometallurgical research in Spain through Spanish publications of the last 30 years.

Palabras clave: Arqueología, Arqueometría, Arqueometalurgia, bibliometría, España, Prehistoria, Historia, FRX, DRX, AA, MEB, PIXE, metalografía, isótopos de plomo.

Key words: *Archaeology, Archaeometry, Archaeometallurgy, bibliometry, Spain, Prehistory, History, XRF, XRD, AA, SEM, PIXE, metallography, lead isotopes.*

1. INTRODUCCIÓN

La Arqueometalurgia es aquel campo de investigación de la Arqueología que tiene como objetivo el estudio de la actividad productiva metalúrgica y de las producciones metálicas del pasado. El número de investigaciones arqueometalúrgicas en España ha aumentado en poco más de diez años de una manera gradual y sin precedentes y los resultados obtenidos han revolucionado el panorama epistemológico actual, sobre todo si se tiene en cuenta el enorme atraso que existía en España respecto de la investigación llevada a cabo en otros países europeos. Los avances realizados en el campo de la Arqueometalurgia no sólo han introducido nuevas interpretaciones sobre la organización de la producción metalúrgica de las comunidades prehistóricas e históricas de la Península Ibérica, sino también sobre la organización socioeconómica de las mismas. Otro avance de igual importancia ha sido la creación de un *corpus* de datos sin antecedentes y de una base teórica de enorme solidez que necesariamente deberá ser tenida en cuenta en las futuras investigaciones.

Los principales objetivos de esta ponencia son evaluar el estado en el que se encuentra este campo de investigación en España, conocer y valorar los estudios que existen sobre los registros materiales relacionados con el proceso productivo metalúrgico de cada período y definir el grado de implantación de los métodos físicos y químicos de caracterización de materiales dentro de la Arqueometalurgia española.

¿Está generalizado el empleo de métodos y técnicas arqueométricas en el estudio de la metalurgia y de las producciones metálicas en la Arqueología Prehistórica e Histórica española? ¿Qué grado de difusión tienen los resultados de estos estudios? ¿Es la aplicación de técnicas arqueométricas similar para todos los períodos de estudio? ¿Cuáles son las evidencias más estudiadas dentro del campo de la Arqueometalurgia? ¿Cuáles son los métodos fisicoquímicos más empleados dentro de este campo de investigación? Los estudios bibliométricos han resultado ser de una enorme utilidad para responder estas cuestiones, como ha quedado demostrado tras el estudio bibliométrico de la arqueometría de metales a nivel europeo (López Romero González de la Aleja y Montero Ruiz, 2004) o tras el estudio realizado sobre las publicaciones de arqueometría cerámica de Andalucía (Cordero Ruiz *et alii,* 2006).

2. METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos propuestos se ha recopilado la información de 450 publicaciones españolas que tratan sobre el proceso productivo metalúrgico y sobre las producciones metálicas prehistóricas e históricas. Se han excluido de este estudio aquellas publicaciones que estudian el metal como soporte para la escritura y los estudios numismáticos, ya que estos campos de estudio tienen una metodología y una problemática específicas diferentes de la que se emplea para el estudio del sistema productivo metalúrgico.

El límite cronológico de las publicaciones incluidas en este estudio tiene como fecha de inicio enero del año 1975 y como fecha final diciembre del año 2006. Sólo se han incluido publicaciones españolas, trabajos que requerían un estudio global de conjunto sobre todo después de las últimas publicaciones que han permitido conocer la situación en que se encuentra la arqueometría de metales a nivel europeo (López Romero González de la Aleja y Montero Ruiz, 2004).

Las variables que recogen la información de las obras consultadas son las siguientes:

A) **Tipo de publicación:** las publicaciones examinadas se han clasificado en varias categorías: monografías, artículos de revistas científicas, artículos de actas de congresos, seminarios o jornadas, capítulo de monografías y tesis doctorales.

B) **Escala geográfica del estudio:** dentro de los trabajos consultados se han encontrado varias escalas geográficas de análisis de la información: escala local, provincial, autonómica, regional

(que puede incluir varias provincias, a varias Comunidades Autónomas o a zonas con las mismas características geográficas), nacional o peninsular.

C) **Cronología de las evidencias materiales estudiadas:** éstos han sido clasificados en objetos prehistóricos, protohistóricos, romanos, medievales o postmedievales. Además, se ha creado aparte una categoría para aquellos trabajos que estudian objetos de diferentes períodos cronológicos.

D) **Contexto de las evidencias materiales estudiadas.**

E) **Tipo de evidencias materiales estudiadas en las publicaciones examinadas:** éstas han sido clasificadas en materiales arqueológicos relacionados con el proceso productivo o en producciones metálicas. En otros casos se han hallado trabajos en los que se incluyen estudios sobre ambos tipos de materiales arqueológicos.

F) **Tipos de estudio y número de análisis realizados en estos trabajos:** en esta variable se ha recopilado la información relativa al número total de análisis realizados, el de análisis composicionales, el de análisis metalográficos y el de análisis isótopos de plomo.

G) **Tipo de análisis realizados:** esta variable incluye los tipos de análisis realizados dentro de los trabajos de investigación como por ejemplo FRX, DRX, PIXE, AAS, MEB, etc.

3. ANÁLISIS GLOBAL

El número total de trabajos consultados es de 450, de los cuales 52 están publicados en actas de congresos, de seminarios o de jornadas (un 12% de los trabajos consultados), 350 en artículos de revistas (77%), 9 en capítulos de monografías (2%), 17 en monografías (4%) y 22 en tesis doctorales (5%).

Las publicaciones consultadas pueden ser clasificadas de manera genérica en dos tipos: aquellas que estudian los materiales arqueológicos por medio de la Arqueometría y aquellas que estudian estas evidencias desde el punto de vista morfológico y sin incluir resultados de análisis arqueométricos. De los 450 trabajos consultados, 173 incluyen resultados de análisis arqueométricos (un 38% de las publicaciones), mientras que 277 sólo realizan un estudio morfológico (un 62%).

A continuación se ha realizado un recuento del número total de publicaciones de cada año con el objetivo de conocer la tendencia existente en la frecuencia de publicación de estos trabajos durante los últimos 30 años. Lo primero que se observa es que existe una enorme irregularidad en la frecuencia con la que se publican los trabajos de arqueometalurgia y los estudios morfológicos y que hay un aumento en el número de trabajos hasta el año 2004, a partir del cual se ha producido una reducción el número publicaciones (gráfico 1). El incremento del número de trabajos entre los años 1985 y 1996 se debió a un mayor número de publicaciones en las revistas publicadas en estos años. El aumento documentado en el año 1994 se debió a la publicación de las actas del congreso *Avances en Arqueometría* (Feliú Ortega, Edreira Sánchez y Martín Calleja, 1994) y del seminario *Minería y Metalurgia en la España Prerromana y Romana* (Vaquerizo Gil, 1994). En el caso del incremento del año 2001, este se debió a la publicación de las actas del *III Congreso Nacional de Arqueometría* (Gómez Tubío *et alii,* 2001) y coincide con un aumento del número de publicaciones de arqueometría cerámica (Cordero Ruiz *et alii,* 2006). El mayor número de publicaciones de arqueometría de metales documentado en el año 2004, se debió a la publicación de las actas del congreso *Tecnología del Oro Antiguo: Europa y América* (Perea Caveda, Montero Ruiz y García-Vuelta, 2004).

La aplicación de técnicas arqueométricas en los estudios consultados es bastante escasa hasta el año 1993, año en el que se produjo la publicación en varios artículos de revistas de algunos de los resultados

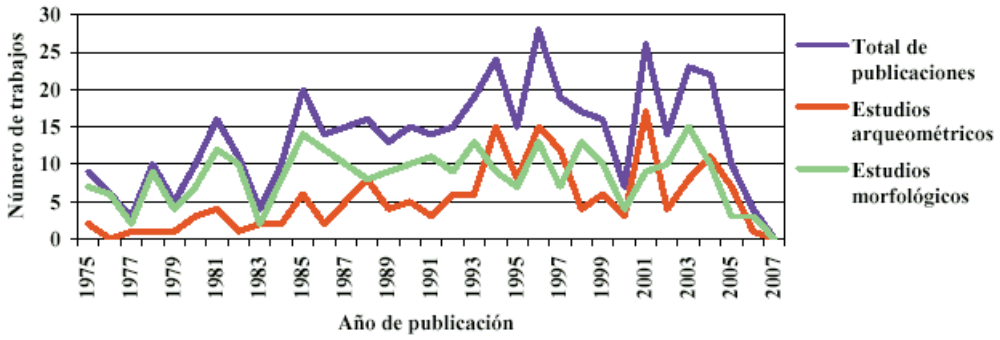


Gráfico 1. Frecuencia de publicación de los trabajos según el año de publicación y el tipo de estudio realizado (publicaciones del año 2007 no incluidas).

obtenidos en el Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica. Sin embargo, la cantidad de trabajos de arqueometría de metales publicados en las actas de los congresos nacionales de arqueometría ha sido, hasta hace pocos años, muy baja en comparación con el número de trabajos de arqueometría cerámica presentados. Así, por ejemplo, sólo hay un trabajo sobre arqueometría de metales en las *Actas del Congreso Nacional de Arqueometría* del año 1995; 4 en las del *Congreso Nacional de Arqueometría* del año 1997 y 16 en las del *Congreso Nacional de Arqueometría* del año 2001. Esto indica que se ha producido un aumento del número de publicaciones en las actas de congresos nacionales en los últimos años y que la implantación de la Arqueometría de metales ha sido más tardía que la Arqueometría cerámica en España.

¿Se publican los estudios morfológicos y arqueométricos en las mismas publicaciones o por el contrario su difusión está relacionada con algún tipo específico de publicación? Para responder a esta pregunta se ha realizado un recuento de todos los trabajos recopilados y se han clasificado en dos grupos teniendo en cuenta si aplican técnicas de estudio arqueométricas o no y el tipo de publicación en el que se difunde el trabajo. El resultado de esta clasificación muestra que la mayoría de los estudios morfológicos se publican en artículos de revistas (véase gráfico 2) y que existe una mayor variedad dentro de los estudios arqueométricos, ya que la proporción de tesis doctorales, monografías y actas de congresos es superior. Esto indica que los estudios arqueométricos se difunden en publicaciones mucho más específicas que el otro tipo de estudios y que, por lo tanto, la difusión de sus resultados es mucho menor, puesto que este tipo de publicaciones suelen ser tan específicas que sólo están al alcance de aquellos investigadores que cuentan con una formación especializada.

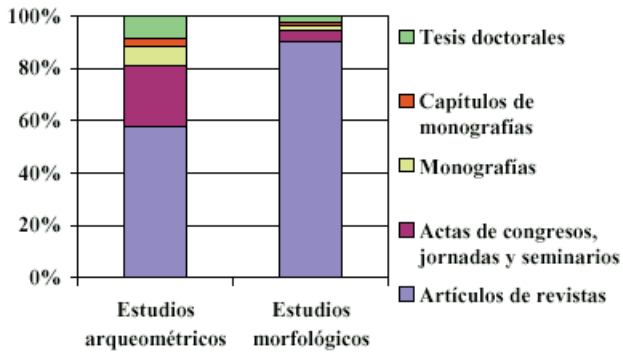


Gráfico 2. Distribución porcentual de los trabajos según el tipo de publicación y el tipo de estudio realizado.

4. LA CRONOLOGÍA DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS EN LOS TRABAJOS CONSULTADOS

La mayoría de las publicaciones recopiladas estudian materiales datados en la Prehistoria (32%), la Protohistoria (37%) y en la época Romana (22%); mientras que el porcentaje de trabajos de época Medieval y Postmedieval es bastante inferior (apenas llega al 2% respecto del total de obras consultadas). Además hay que señalar que la proporción de trabajos que estudian materiales de varios períodos es superior (5%) al porcentaje de trabajos de materiales datados en época Medieval y Moderna.

La mayor parte de los trabajos arqueométricos estudian materiales de la Prehistoria y de la Protohistoria. El porcentaje de publicaciones que estudian objetos romanos es muy inferior, tan sólo un 13% a pesar de que es el período del cual han sido hallados más objetos metálicos y del cual hay más evidencias de producción (véase gráfico 3). La situación que se observa para el conjunto de trabajos morfológicos es algo diferente. En primer lugar, hay que señalar que el porcentaje de estudios de materiales de la Prehistoria se reduce drásticamente (de un 38 a un 27%). Además, se documenta un aumento importante del número de publicaciones sobre materiales de época romana, cuyo porcentaje aumenta hasta el 28%, y una reducción del porcentaje de estudios de materiales de varios períodos.

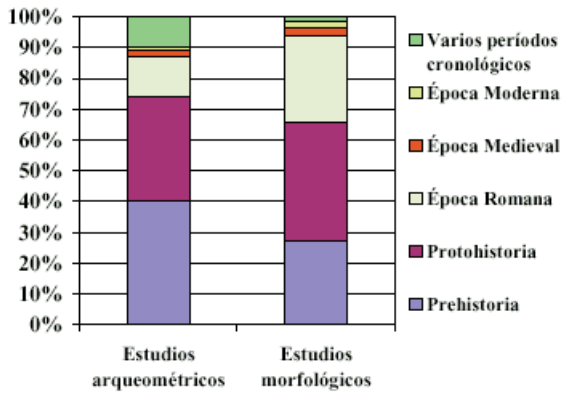


Gráfico 3. Distribución porcentual de los trabajos según el tipo de estudio realizado y la cronología de los materiales estudiados.

La principal conclusión que se puede obtener de todo lo comentado hasta ahora es que existe en el mundo de la Arqueología Clásica, Medieval y Postmedieval una cierta reticencia a la aplicación de métodos de estudio fisicoquímicos. En el caso de la Arqueología Medieval y Posmedieval, esto se debe al poco desarrollo que tienen estos campos de estudio dentro del mundo de la Arqueología —a diferencia de otros países europeos en donde están más desarrolladas e incluso cuentan con publicaciones propias—. Por el contrario, en el caso de la Arqueología Clásica esto se debe a una falta de renovación metodológica, como la que si se ha desarrollado dentro del mundo de la arqueología prehistórica y protohistórica. Este panorama no es una excepción sino que es bastante similar al que se ha documentado en el estudio realizado sobre las publicaciones de arqueometría cerámica andaluza (Cordero Ruiz *et alii,* 2006).

5. EL CONTEXTO DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS

La mayoría de los trabajos arqueométricos consultados estudian objetos que sufren una descontextualización (28%) o que proceden de contextos de habitación (23%); mientras que el porcentaje de estudios sobre materiales hallados en contextos funerarios (12%) y productivos (12%), término que ha sido em-

pleado para hacer referencia a minas, contextos con escorias, minerales, cerámicas escorificadas u hornos, es inferior. Por el contrario, el porcentaje de estudios sobre materiales procedentes de depósitos en medios acuáticos o de ocultamientos intencionados es bastante reducido (un 2% del total de los trabajos recopilados). En un 5% de las obras consultadas no se incluye el tipo de contexto en el que aparecieron las piezas del estudio.

La mayor parte de los trabajos sobre materiales de la Prehistoria estudian objetos que han sido hallados en diferentes contextos y en ellos se realizan recopilaciones de una alta cantidad de objetos de un determinado período y de procedencia diversa (véase gráfico 4). Esta situación contrasta con la documentada para los trabajos sobre materiales de la Protohistoria, en la mayoría de los cuales se estudian materiales que proceden de contextos de producción y en los que han aparecido escorias, cerámicas escorificadas, moldes u hornos. También se ha documentado que hay una gran cantidad de trabajos sobre contextos funerarios de la Protohistoria. Esto se debe a que existe un elevado número de estudios sobre las panoplias de la Edad del Hierro que formaban parte de los ajuares de las tumbas ibéricas y celtibéricas.

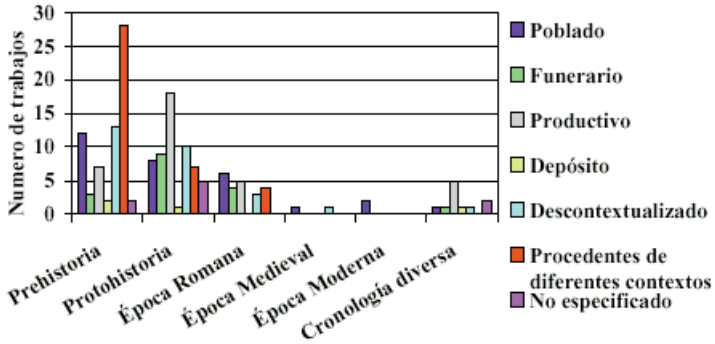


Gráfico 4. Número de trabajos arqueométricos según el contexto y la cronología de los materiales estudiados.

6. LOS MATERIALES ESTUDIADOS

Los materiales que aparecen en contextos arqueológicos y que son estudiados por las publicaciones consultadas pueden ser de dos tipos: aquellos que están relacionados con el proceso productivo metalúrgico, ya sea con las labores de extracción, de procesamiento o de transformación de la materia prima en metal, y aquellas producciones metálicas que son resultado del mismo. La mayoría de las publicaciones recopiladas estudian producciones metálicas; mientras que son escasos los trabajos que estudian el proceso productivo y las producciones metálicas de manera conjunta. Por norma general, estas publicaciones suelen ser tesis doctorales en las que se incluyen análisis sobre objetos metálicos y sobre restos derivados del proceso productivo.

A continuación, se ha calculado, sobre los datos recopilados, el número de trabajos arqueométricos según el tipo de evidencias estudiadas y la cronología de las mismas para conocer si existe o no alguna pauta diferenciada en el estudio arqueométrico de los materiales de cada período. Los estudios sobre materiales relacionados con el sistema productivo de la Prehistoria y la Protohistoria son numerosos; aunque no sobre materiales de este tipo datados en época romana (véase gráfico 5). En el caso de los trabajos que estudian las producciones metálicas de cada período, éstos se reparten de manera más homogénea. No obstante, los trabajos sobre materiales de Época Medieval y Moderna son escasos.

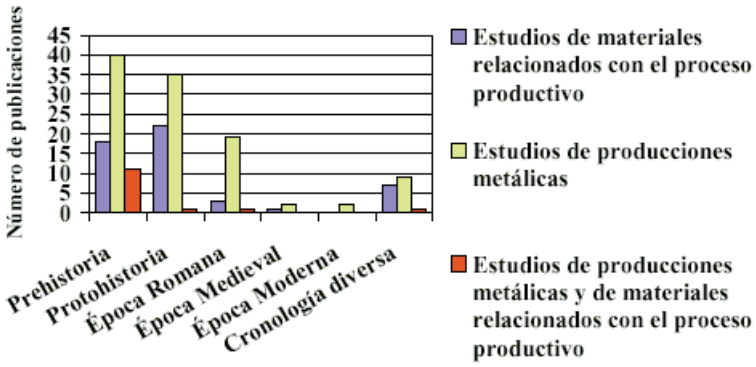


Gráfico 5. Número de publicaciones arqueométricas según la materia y la cronología de los materiales estudiados.

¿Cuál es el metal más estudiado? La mayoría de las publicaciones (más del 60% del total de trabajos consultados) estudian objetos realizados en cobre puro o en algunas de sus aleaciones con estaño, con cinc o con arsénico, que puede ser intencionada o no según la interpretación que se escoja. La cantidad de estudios sobre objetos de hierro es bastante baja en comparación con el número de trabajos existente sobre objetos de oro o de cobre. Aunque estos objetos suelen aparecer de manera frecuente, no suelen ser analizados. La escasez de publicaciones sobre objetos de hierro es también una característica propia de las publicaciones arqueométricas de otros países europeos. Este fenómeno se debe a tres razones: primero porque es un metal que sufre una fuerte corrosión y suele aparecer mineralizado; segundo porque es un metal difícil de caracterizar por medio de sus impurezas; y tercero porque éste causa poco interés dentro del mundo de la investigación arqueometalúrgica (López Romero González de la Aleja y Montero Ruiz, 1994: 198). Por otra parte, hay que señalar que existe en España una alta cantidad de publicaciones arqueométricas sobre objetos de orfebrería, aunque no en Europa, en donde son mucho más frecuentes los estudios sobre objetos de plata *(ibidem).*

La mayor parte de los estudios sobre objetos de Época Romana y de la Prehistoria estudian objetos realizados en cobre o en aleaciones de este metal (gráfico 6). Por el contrario, existe una gran cantidad de trabajos sobre materiales de la Protohistoria que estudian objetos realizados en oro. Todas las publicaciones sobre objetos de Época Medieval y Moderna estudian objetos de hierro, ya que no hay publicados estudios analíticos sobre objetos de estos períodos realizados en otros metales.

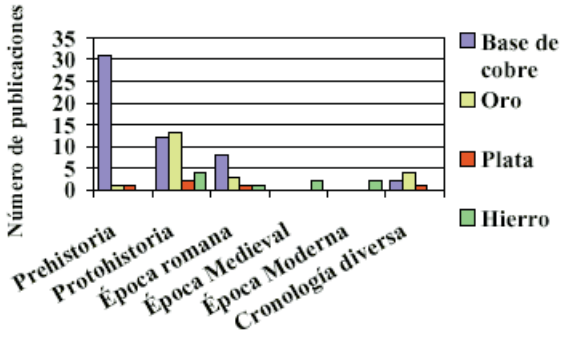


Gráfico 6. Número de trabajos arqueométricos según el metal de los materiales estudiados y la cronología de los mismos.

7. EL NÚMERO DE MUESTRAS Y LOS MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS

Las técnicas arqueométricas aplicadas en los trabajos recopilados son las siguientes:

A) **Composición química o mineralógica:** este tipo de técnicas se realizan con el objetivo de conocer la composición química o mineralógica del objeto analizado. Las más frecuentes son la FRX, DRX, AA, PIXE, ICP-AES y el MEB-EDS.

B) **Estructura interna:** estas técnicas se aplican con el objetivo de conocer la estructura interna del objeto y sus propiedades físicas. Las dos más empleadas son el análisis metalográfico y los estudios microscópicos por MEB.

C) **Isótopos de plomo:** esta técnica arqueométrica se emplea para conocer el lugar de procedencia de la materia prima utilizada en el proceso de producción metalúrgico partir de la proporción de la materia prima a partir de la proporción de 4 isótopos de plomo estables, expresada en ratios, y que están presentes en la composición de los materiales arqueológicos. Para determinar la proporción de isótopos presente en la muestra se emplea a la técnica de TIMS (Espectrometría de Masas por Ionización Térmica).

La mayoría de los trabajos que analizan materiales arqueológicos estudian su composición (un 67% de las obras consultadas). El porcentaje de publicaciones arqueométricas en las que se incluyen análisis de la estructura interna es inferior (un 9%). Por norma general, estos análisis suelen ser considerados como complementarios y suelen aplicarse a aquellas piezas arqueológicas de las cuales se conoce composición (un 22% de los trabajos consultados).

El número de trabajos que aplican análisis de isótopos de plomo es escaso (un 2% de las publicaciones consultadas). Esta técnica analítica no se aplica de manera aislada a las piezas metálicas, sino a piezas de las cuales se conoce su estructura interna o su composición química.

La mayor parte de los estudios arqueométricos examinados incluyen, en sus respectivos estudios, los resultados de un total de menos de 30 muestras (gráfico 7). Las publicaciones con un número total de resultados superior a 100 muestras son escasas y son tesis doctorales y publicaciones de proyectos de investigación en las que se incluyen los resultados de más de 300 muestras. El empleo de un número pequeño de muestras no sólo es propio de la arqueometría de metales, sino que también es característico de las publicaciones de arqueometría cerámica (Cordero Ruiz *et alii,* 2006).

A continuación se ha calculado el número de muestras de cada publicación con el objetivo de conocer si éste depende o no del tipo de estudio arqueométrico realizado. Los primero que se observa es que la mayoría de las publicaciones con análisis de composición y de estructura interna incluyen los resultados de menos de 30 muestras (véase gráfico 8). Los estudios de isótopos de plomo son escasos en España

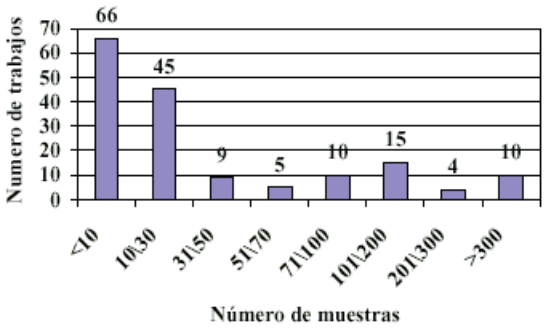


Gráfico 7. Número total de muestras en los trabajos arqueométricos consultados.

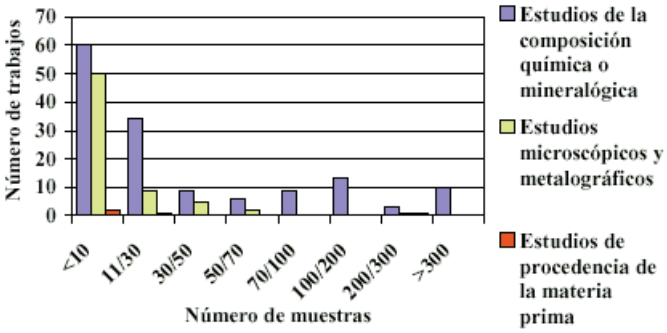


Gráfico 8. Número de trabajos arqueométricos según el número de muestras analizadas y el tipo estudio realizado.

y suelen incluir los resultados de menos de 10 muestras. El único estudio que incluye los resultados de más de 200 muestras de isótopos de plomo es el trabajo *Minería y Metalurgia Prehistórica en el Suroeste de la Península Ibérica* (Hunt Ortiz, 2003), trabajo que sigue siendo la gran obra de referencia de los estudios de isótopos de plomo en España.

La FRX y el MEB son las técnicas analíticas más empleadas para conocer la composición química de los objetos analizados (gráfico 9). El resto de los métodos de análisis son mucho menos utilizados, aunque algunas técnicas analíticas tienen un uso muy específico.

Por ejemplo, el PIXE es usado en la mayoría de las publicaciones para estudiar objetos de orfebrería. La ausencia de una capa de corrosión en el oro y el alto valor de estos objetos son los motivos que han llevado a elegir esta técnica no destructiva y de alto coste económico. En el caso de la DRX, esta técnica suele ser empleada para analizar los fragmentos de cerámicas escorificadas relacionadas con el proceso metalúrgico como por ejemplo los crisoles o los moldes. Por otra parte, hay que señalar que existe una alta cantidad de publicaciones en las que no se indica la técnica de análisis empleada para conocer la composición de los materiales arqueológicos. En líneas generales se puede decir que la situación documentada en la Península Ibérica es diferente de la que se documenta en el estudio bibliométrico realizado a nivel europeo, en donde la técnica analítica más empleada es el MEB (López Romero González de la Aleja y Montero Ruiz, 2004). Respecto a los análisis de la estructura interna, hay que señalar que el número de trabajos con análisis metalográficos y por MEB es bastante similar. Esto se debe a que el MEB se

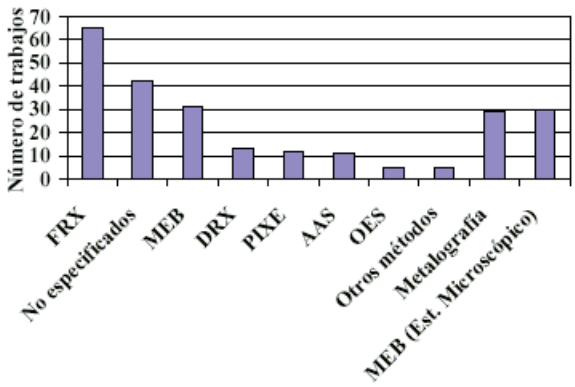


Gráfico 9. Número de trabajos arqueométricos según la técnica de análisis empleada.

ha convertido en pocos años en una técnica analítica de bajo coste que permite tanto visualizar diferentes áreas de la muestra, como analizar su composición. Esta técnica analítica ha resultado ser de enorme ayuda en el estudio de materiales que se caracterizan por tener una estructura interna muy heterogénea, como por ejemplo los subproductos del proceso de transformación y fundición u objetos de orfebrería.

A continuación, se ha calculado la frecuencia del empleo de cada técnica analítica en las publicaciones de los últimos 30 años. Para ello, se ha divido este período en seis lustros con el objetivo de conocer la evolución en la utilización de cada una de ellas. Lo primero que se observa es que el empleo de la FRX tuvo su apogeo entre los años 1991 y 1995 y que su uso se ha reducido en los dos lustros siguientes (gráfico 10). Por el contrario, en este último período se ha generalizado la utilización del MEB. Por otra parte, hay que señalar que desde hace 30 años existe una cantidad constante de trabajos en los que no se indica la técnica analítica empleada en el estudio publicado. El hecho de que no se haya corregido este error metodológico es preocupante e indica que una parte de los investigadores que llevan a cabo estos estudios aplican las técnicas de análisis sin un objetivo concreto y desconociendo sus características básicas. Por último, hay que señalar que en los últimos años se ha producido un aumento en la utilización de técnicas metalográficas y en la realización de estudios de estructura interna por MEB.

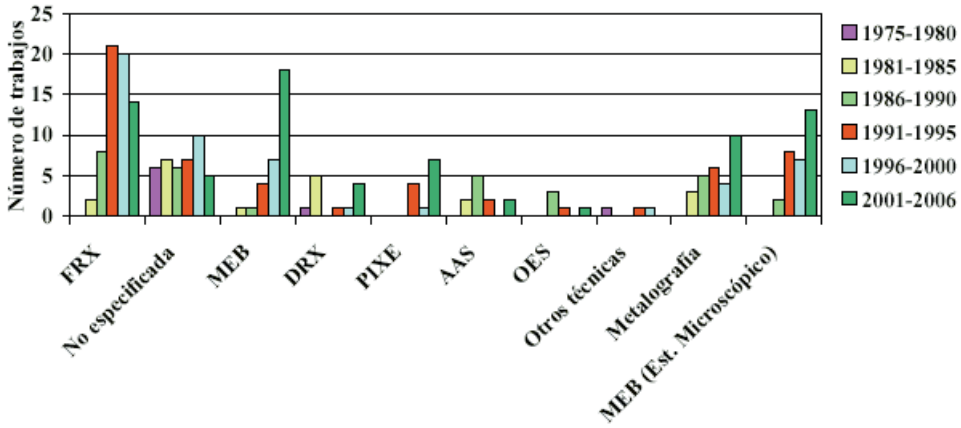


Gráfico 10. Evolución cronologica de la frecuencia de empleo de las diferentes técnicas analíticas.

8. CONCLUSIONES

La Arqueometalurgia es un campo de estudio que se ha ido consolidando dentro de mundo de la investigación española de una manera gradual y lenta. Hasta el año 2004 se ha producido un aumento sin precedentes del número de publicaciones de arqueometría sobre metalurgia, aunque a partir de este año se ha producido una reducción del número de trabajos arqueométricos y de estudios morfológicos.

El empleo de técnicas arqueométricas está mucho más generalizado dentro de la arqueología prehistórica y protohistórica que en la arqueología clásica, medieval y postmedieval. Este fenómeno no es sólo exclusivo de la arqueometría de metales sino que también se ha documentado en la arqueometría cerámica española (Cordero Ruiz *et alii,* 2006). Respecto a la Protohistoria, hay que señalar que existen una elevada cantidad de estudios sobre armas y adornos de la Edad del Hierro II.

La mayoría de los estudios examinados tienen una escala geográfica de estudio local, mientras que las escalas macro de análisis de los datos son mucho menos frecuentes en las publicaciones recopiladas.

Todos los estudios que aplican una escala de análisis macro son tesis doctorales, publicaciones que sólo son accesibles a un público muy especializado pero no al resto de los profesionales de la arqueología o al resto de investigadores, lo cual supone una limitación en la difusión de los resultados obtenidos. Asimismo, hay que señalar que, en la mayoría de los casos, las tesis doctorales que se publican son pocas, hecho que agrava aún más la escasa difusión científica de estas investigaciones. Mucho más frecuentes son las publicaciones en revistas, más accesibles a un público menos especializado, pero cuyos estudios suelen recoger la información de menos de 10 objetos arqueológicos. Por otra parte, hay que señalar que faltan, a día de hoy, publicaciones de síntesis en las que se expliquen de manera simplificada cuáles han sido los avances conseguidos en los estudios arqueométricos y la problemática existente dentro del mundo de la arqueometalurgia española. Estos trabajos, muy útiles cuando se trata de difundir de manera sencilla el estado actual de la investigación existente, sí existen para la arqueometalurgia a nivel mundial (Mohen, 1992) o para la arqueometalurgia de las diferentes regiones del mar Mediterráneo (Montero Ruiz, 2000). Existen algunas publicaciones que difunden algunos de los resultados obtenidos en las investigaciones españolas (Delibes de Castro, 1998), aunque todavía no se ha abordado una obra de conjunto y de síntesis.

El contexto de los materiales estudiados en los trabajos arqueométricos es muy variado, aunque existe un alto porcentaje de objetos analizados descontextualizados y de estudios en los que no se indica el contexto de procedencia. Además, hay que señalar que la procedencia específica de los materiales arqueológicos no es un factor que se tenga en cuenta a la hora de aplicar estudios arqueométricos sobre metales. Esta situación contrasta con la documentada en el estudio de la arqueometría cerámica andaluza, en el que se ha demostrado que las piezas procedentes de contextos funerarios rara vez suelen ser analizadas (Cordero *et alii,* 2006).

La mayoría de los trabajos arqueométricos consultados estudian objetos metálicos, siendo mucho menos frecuentes las publicaciones que estudian otros restos materiales menos frecuentes en el registro arqueológico como por ejemplo las escorias, los moldes, los minerales, etc. Los objetos de metal más estudiados son los que están realizados en base de cobre y en oro, mientras que son escasas las publicaciones que estudian desde el punto de vista arqueométrico los objetos realizados en plata, hierro o plomo. Esto se debe a que estos metales fueron menos empleados en la realización de objetos de la Prehistoria y Protohistoria, que son los períodos mejor estudiados hasta el momento.

Los estudios más frecuentes en la arqueometalurgia española son los que se realizan para conocer la composición de los materiales arqueológicos analizados y suelen incluir los resultados de menos de 30 muestras. Las técnicas analíticas más empleadas son la FRX y el MEB, técnica que cada vez se aplica más para analizar la estructura interna de los materiales arqueológicos. En algunos trabajos la aplicación de técnicas arqueométricas no se realiza con un objetivo definido, sino para obtener unos datos que no son interpretados. Los estudios de isótopos de plomo están muy desarrollados en Europa, aunque su implantación en la investigación arqueometalúrgica española ha sido reciente. Este hecho puede deberse a la falta de facilidades analíticas que ha habido hasta hace poco tiempo en nuestro país, aunque este tipo de estudios empiezan a ser cada vez más frecuentes en las publicaciones arqueometalúrgicas españolas.

En conclusión se puede decir que los avances de la investigación arqueometalúrgica española han sido notables en diez años, a pesar de lo cual sigue existiendo una reticencia a la aplicación de técnicas arqueométricas al registro material. Esto indica que existe una deficiente comunicación entre los investigadores de la arqueología y los investigadores especializados en la física y la química. Esta escasa comunicación también se debe a que existe una educación universitaria obsoleta y una falta de profesionales especializados en este campo de estudio (Montero Ruiz *et alii,* 2007: 35). La metodología de estudio dentro del mundo de la Arqueología ha avanzado mucho en los últimos años, aunque no el sistema educati-

vo universitario español en el que no han existido, salvo raras excepciones, asignaturas específicas e itinerarios académicos de arqueometría. Este problema se ve agravado por la falta de organismos e instituciones públicas españolas de especializados en la investigación arqueométrica, lo que hace que las investigaciones realizadas hayan sido fruto del esfuerzo personal de los investigadores y que hayan estado limitadas por el dinero disponible en los proyectos de investigación. Por otra parte, hay que señalar que es necesario que se redefinan las prioridades dentro de la investigación arqueometalúrgica en España para paliar la falta de información existente en aquellos períodos y campos de estudio menos investigados. Sólo una solución a estos problemas podrá evitar que la investigación española quede obsoleta en el futuro respecto de la investigación llevada a cabo en otros países europeos.

BIBLIOGRAFÍA

CORDERO RUIZ, T.; GARCÍA SANJUÁN, L.; HURTADO PÉREZ, V.; MARTÍN RAMIREZ, J.M.; POLVORINOS DEL RÍO, A. y TAYLOR, R. (2006): "La Arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza", *Trabajos de Prehistoria* 63, vol. 1: 9-35.

DELIBES DE CASTRO, G. (Coord.) (1998): *Minerales y metales en la prehistoria reciente: algunos testimonios de su explotación y laboreo en la península Ibérica.* Universidad de Valladolid. Valladolid.

FELIÚ ORTEGA, M.J.; EDREIRA SANCHEZ, M.C. y MARTÍN CALLEJA, J. (1994): *Avances en Arqueometría.* Universidad de Cádiz. Cádiz.

MONTERO RUIZ, I.; GARCÍA-HERAS, M. y LÓPEZ ROMERO, E. (2007): "Arqueometría: cambios y tendencias actuales". *Trabajos de Prehistoria* 64, vol. 1: 23-40.

GÓMEZ TUBÍO, B.M.; RESPALDIZA, M.A. y PARDO RODRÍGUEZ, M.L. (Eds.) (1999): *Actas del III Congreso de Arqueometría.* Universidad de Sevilla. Sevilla.

LÓPEZ-ROMERO GONZÁLEZ DE LA ALEJA, E. y MONTERO RUIZ, I. (2004): "Archaeometry and International Evolution of Studies on Metallurgy: a bibliometrical perspective". *Actas del 34 Simposio Internacional de Arqueometría.* Zaragoza: 195-200.

HUNT ORTIZ, M.A. (2003): *Prehistoric mining and metallurgy in Southwest Iberian Peninsula,* BAR, Int. Series 1188. Archaeopress. Oxford.

MOHEN, J.P. (1992): *Metalurgia prehistórica: introducción a la paleometalurgia.* Masson. Barcelona.

MONTERO RUIZ, I. (2000): *Arqueometalurgia en el Mediterráneo.* Ediciones Clásicas. Madrid.

PERÉA CAVEDA, A.; MONTERO RUIZ, I. y GARCÍA VUELTA, O. (Eds.) (2004): *Tecnología del Oro antiguo: Europa y América.* CSIC. Madrid.

VAQUERIZO GIL, D. (Coord.) (1992): *Minería y Metalurgia en la España Prerromana y Romana, Actas de los Seminarios de verano "Fons Mellaria".* Diputación Provincial de Córdoba. Córdoba.

LA INVESTIGACIÓN ARQUEOMÉTRICA SOBRE LA METALURGIA DE GALICIA: UNA APROXIMACIÓN A SU TRAYECTORIA Y ESTADO ACTUAL

ARCHAEOMETRIC RESEARCH ON GALICIAN METALLURGY: AN ASSESSMENT OF ITS DEVELOPMENT AND CURRENT SITUATION

XOSÉ-LOIS ARMADA PITA[1], BEATRIZ COMENDADOR REY[2], ÓSCAR GARCÍA VUELTA[3]

(1) Laboratorio de Arqueoloxía da Paisaxe. Instituto de Estudos Galegos Padre Sarmiento (CSIC-Xunta de Galicia). c/ San Roque, 2. 15704 Santiago de Compostela. lois.armada@ieqps.csic.es
(2) Área de Prehistoria, Departamento de Historia, Arte y Geografía (Univ. de Vigo). Facultad de Historia, Campus de Ourense. As Lagoas s/n. 32004 Ourense. beacomendador@uvigo.es
(3) Centro de CC. Humanas y Sociales. c/Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. ovuelta@ih.csic.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar una valoración crítica de los estudios arqueométricos sobre la metalurgia de Galicia. Desde una perspectiva historiográfica, se consideran las aportaciones de los principales proyectos y programas de investigación (SAM, Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica...), las iniciativas de carácter regional o los análisis realizados de modo aislado y esporádico desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Se analizan aspectos como el número de análisis efectuados en cada proyecto, las metodologías de análisis o los problemas de fiabilidad y comparación de los resultados. Este repaso a la historia de la investigación nos sirve para subrayar algunas de sus lagunas y sugerir propuestas de trabajo para el futuro.

ABSTRACT

The aim of this paper is to offer a critical assessment of the archaeometric study of Galician metallurgy. We consider the contributions made by the main projects and research programmes (SAM, Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica, etc.), by regional initiatives and by isolated and sporadic analyses done from the 19th century to the present. Issues such as the number of analyses undertaken by each project, the methods they used and the problems of comparison and reliability of their results are discussed. This approach to the history of research enables us to identify some of its gaps and to propose future work.

Palabras clave: Arqueometría, Arqueometalurgia, Historia de la Investigación, Galicia, Análisis de Composición.

Key words: *Archaeometry, Archaeometallurgy, History of Research, Galicia, Analysis of Composition.*

1. INTRODUCCIÓN

El avance de la investigación arqueométrica en nuestro país ha motivado la publicación de trabajos sobre su trayectoria y estado actual, bien a nivel general (García Heras, 2003; Montero *et al.,* 2007) o referidos a áreas concretas como la metalurgia (Gómez Ramos, 1997; Sarabia, 1998; Fernández Manzano y Montero, 2001; López-Romero y Montero, 2006; Perea *et al.,* 2008) o la cerámica (García Heras, 1997), incluso desde una perspectiva regional (Cordero *et al.,* 2006).

En líneas generales, buena parte de las contribuciones citadas exponen una situación crítica —aunque en progresiva mejoría— caracterizada por la débil implantación universitaria e institucional de la arqueometría, el insuficiente apoyo económico o el escaso diálogo entre los ámbitos de ciencias y de humanidades. El caso que aquí analizamos —los estudios arqueométricos sobre la metalurgia gallega— participa del mismo diagnóstico, pero con algunas situaciones específicas que creemos oportuno considerar.

La riqueza minero-metalúrgica del Noroeste peninsular aparece ya mencionada en los autores clásicos (Luzón, 1983), que contribuyeron a fijar temas, como el de las célebres islas Casitérides, sobre los que ha vuelto una y otra vez la investigación[1]. A esta visión contribuyeron los hallazgos de torques o depósitos, que pasaron a engrosar las colecciones particulares de los eruditos de posición social acomodada a cuyo cargo se encontraban los estudios arqueológicos en el siglo XIX y primeras décadas del XX. A partir de fuentes grecolatinas y piezas descontextualizadas se construyó la idea del Noroeste como un *reino del metal* (Comendador, 2003: 134); en este contexto se entiende que surgiesen ya en el siglo XIX intentos aislados de caracterizar la composición de algunos objetos metálicos. Desde entonces, la trayectoria de este tipo de iniciativas ha experimentado diversos altibajos y se ha enfrentado a no pocos condicionantes y dificultades.

El objetivo de estas páginas es plantear una aproximación crítica a los trabajos realizados hasta la fecha y sugerir algunas propuestas de futuro. Las ideas aquí expuestas surgen del esfuerzo compartido por recopilar y sistematizar la información analítica disponible sobre los metales arqueológicos de Galicia. A tal efecto, trabajamos actualmente en la elaboración de una base de datos que recoja todos los análisis publicados hasta la fecha y que servirá para un posterior balance cuantitativo y bibliométrico; en las líneas que siguen exponemos una visión preliminar.

Centramos el presente estudio en los límites administrativos de la comunidad autónoma de Galicia, a fin de acotar el análisis y también porque la transferencia de las competencias en materia arqueológica a las comunidades autónomas en la primera mitad de los años 80 ha acentuado desde entonces la diversidad regional de las trayectorias de investigación, haciendo necesaria una revisión más pormenorizada de cada zona. No obstante, somos conscientes de que la problemática expuesta se encuentra estrechamente vinculada a la casuística española en general y, más en concreto, a las de áreas vecinas como el norte de Portugal, el occidente de Asturias o las provincias de León y Zamora.

La adopción de una perspectiva diacrónica nos ha llevado a periodizar las etapas de la investigación, aunque es importante señalar que el esquema cronológico propuesto es sólo uno de los posibles para una trayectoria que apenas presenta momentos trascendentales o puntos de inflexión acusados. Pernicka (1998) ha dividido los estudios de arqueometalurgia en tres etapas que, como han planteado algunos autores, podrían aplicarse a la arqueometría en general (López-Romero y Montero, 2006: 195; Montero

1. Los precedentes se remontan cuando menos al s. XVIII, con trabajos como el del ilustrado J. Cornide de Folgueira: *Las Casitérides, o Islas del Estaño, restituidas a los mares de Galicia. Disertación crítica en que se procura probar que estas islas no son las Sorlingas, como pretende en su Britania Guillermo Cambden, y sí las de la costa occidental del reino de Galicia.* Madrid 1790. Transcripción y versión digital de J. M. Abascal. http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=21935

et al., 2007: 26): formativa (siglo XIX-1930), desarrollo (1930-1970) y expansión (1970-presente). A grandes rasgos el caso de Galicia se caracteriza por un desarrollo retardatario con respecto al panorama general y en el cual las fases de formación y desarrollo podrían quizá agruparse en una larga y lenta etapa formativa de casi un siglo de duración.

2. LOS PRECURSORES: 1880-1960

Los primeros análisis de composición en la arqueología gallega surgen en el siglo XIX; responden a iniciativas aisladas y consisten en análisis por vía húmeda que ofrecen poca precisión cuantitativa. El primero del que tenemos constancia lo publica Murguía (1888: 122-123) y corresponde a un hacha procedente de Cambados conservada en la Sociedad Económica de Santiago. El único dato que se proporciona es la tasa de plomo, no indicándose el autor ni el lugar del análisis[2]. En términos muy similares, el mismo autor menciona en su *Historia de Galicia* otro análisis de un hacha de Coropó, indicando únicamente que la aleación "es de 88-12" (Murguía, 1901: 560, n. 1)[3].

Algo más explícito se muestra Saralegui al publicar el análisis de un hacha del depósito de Senra en la tercera edición de sus *Estudios sobre la época céltica en Galicia* (Saralegui, 1894: 25). En esta ocasión, se proporciona una información pormenorizada sobre la composición, citando como autor del análisis a Avelino Comerma, ingeniero naval y propietario de una de las hachas del depósito (Armada y García Vuelta, 2007: 317)[4]. En estos primeros trabajos encontramos comparaciones con la composición de hachas y otros bronces de fuera de Galicia, así como alusiones a la fabricación local de las hachas —en el caso de Senra— o a "la riqueza de la producción estannífera del país" (Saralegui, 1894: 22, 24; ver también Armada y García Vuelta, 2007: 317; Murguía, 1888: 122-123). En una línea similar, en cuanto al criterio de publicación de resultados, cabe mencionar los análisis del depósito de Roufeiro dados a conocer por López Cuevillas (1925) y realizados por José Fernández Martínez, director del Laboratorio Municipal de Ourense.

Se aprecia un interesante avance en la publicación de Castillo (1927) sobre hachas de talón en Galicia. Este autor incluye una tabla con siete análisis de hachas gallegas, recogiendo los publicados por Murguía y Saralegui, otros tres publicados por Siret (1913), así como un séptimo de Cumbraos efectuado por el químico Jesús Casares Bescansa en A Coruña a petición del propio Castillo (1927: 96)[5]. El investigador coruñés alude a la composición del metal como un criterio de clasificación —entre hachas "de bronce pobre, de bronce normal y de bronce plomoso"— del que podrían derivarse conclusiones de importancia, aunque para ello estima necesario un número de análisis superior a los siete recogidos (Castillo, 1927: 95-96).

Esta tónica general de iniciativas aisladas se mantiene durante varias décadas, en las que aparecen escasos y esporádicos análisis de objetos gallegos, como los que publica Almagro Basch (1958) del depósi-

---

2. De hecho, ni queda claro si los análisis realizados son uno o más: "De todas ellas, sólo de las de Cambados hemos podido obtener el análisis, por cierto que dando éste un 16 por 100 de plomo, indica ya una época más civilizada, tal vez un bronce romano" (Murguía, 1888: 122). En diversos lugares de Europa venían practicándose análisis químicos de objetos arqueológicos desde varias décadas atrás (Montero, 2002: 57; Montero *et al.,* 2007: 26); los análisis más antiguos en Portugal, probablemente los publicados por Alfredo Ben-Saude, son coetáneos a los gallegos (Comendador, 1997: 49; 1998: 148).

3. Castillo (1927: 96) señalará acerca de este último que "más que análisis parecen datos aproximados".

4. "...contienen 77,63 por 100 de cobre por 18,57 de estaño, con 3,20 de plomo, 0,54 de zinc y 0,06 de pérdida, conforme demuestra el concienzudo análisis practicado por el inteligente Ingeniero naval y distinguido escritor Sr. Comerma..." (Saralegui, 1894: 25).

5. Como señala Castillo (1927: 96), uno de los análisis publicados por Siret corresponde al mismo hacha que había sido analizada anteriormente en Galicia (Murguía, 1901: 560, n. 1), con procedencia atribuida a Coropó/Sotomayor y que sería donada al Museo Arqueológico Nacional por el abogado pontevedrés Sancho Gutiérrez (Castillo, 1927: 78, n. 2).

to de San Esteban de Río Sil. No obstante, en estos años se producen avances notables en líneas de trabajo que resultan complementarias a la caracterización analítica y cruciales para el conocimiento de la metalurgia antigua.

Una de ellas es la elaboración de *corpora* de objetos metálicos y su organización tipológica, labor que preocupa ya a Castillo (1927) y que alcanza cotas de máxima relevancia en monografías como la consagrada por López Cuevillas (1951) a la orfebrería castreña. A partir de los años 50 destacan los trabajos de Monteagudo, dedicados a los torques (Monteagudo, 1952) o la orfebrería y las hachas de la Edad del Bronce (Monteagudo, 1953 y 1973), tema este último que culminará en la publicación de su célebre catálogo en la serie *Prähistorische Bronzefunde* (Monteagudo, 1977).

La otra línea de investigación fundamental desarrollada en este período es la relativa a la minería antigua y los recursos minero-metalúrgicos del Noroeste peninsular. En esta dirección se contaba desde 1835 con la *Descripción geognóstica del Reino de Galicia* de G. Schulz[6], pero será también Monteagudo quien desde los años 50 desarrolle esta cuestión (Monteagudo, 1954 y 1957); en su monografía citada sobre hachas relaciona la distribución de estos objetos con yacimientos mineros concretos (Monteagudo, 1977: 10 ss.; Luzón, 1983: 215).

Junto a Monteagudo, otra figura influyente es Blanco Freijeiro. Aunque desarrolla su trayectoria profesional fuera de Galicia, este autor realiza aportaciones relevantes a la arqueología de su tierra natal, destacando sus trabajos sobre orfebrería castreña, en los que muestra interés por los aspectos tecnológicos e introduce novedades metodológicas como el empleo de lupa binocular (Blanco Freijeiro, 1957). El interés de Blanco por la minería antigua, que remonta a su tesis doctoral, no se concreta en publicaciones sobre el Noroeste, pero serán dos de sus discípulos, Luzón y Sánchez-Palencia, quienes protagonicen una nueva etapa de este tipo de estudios en suelo galaico.

3. PRIMEROS INTENTOS DE INVESTIGACIÓN PLANIFICADA: 1960-1990

El carácter episódico y escasamente normalizado de la investigación analítica se mantiene hasta los años 60-70, siendo, en buena medida, común a todo el estado español (Sarabia, 1998: 16). Aunque en países como el Reino Unido los primeros proyectos a gran escala surgen en los años 40 y 50 (Sarabia, 1998: 17), en España habrá que esperar algo más para que lleguen a concretarse empresas similares (Montero *et al.,* 2007: 28). Aquí nos referiremos a dos proyectos de características distintas que incluyen materiales gallegos. El primero de ellos es el proyecto alemán *Studien zu den Anfängen der Metallurgie* (SAM), una iniciativa de muy amplio alcance pero limitada en cuanto a la inclusión de objetos del Noroeste. En segundo lugar hay que referirse a las actuaciones lideradas por J. C. Sierra y que se plasman en distintas publicaciones y marcos de colaboración; en este caso, el número de análisis de piezas gallegas es superior pero su impacto más reducido, debido tanto al enfoque regional de estos estudios como a su limitada publicación, tal y como señala Peña Santos (1992a: 375). Al margen de estas iniciativas, continuarán realizándose lentamente y de forma esporádica algunos nuevos análisis de composición (Eiroa, 1973).

La Universidad de Santiago, único referente académico en la arqueología gallega del momento, retoma su protagonismo a finales de los años 60 después de varias décadas en letargo. En esta reacción es fundamental la figura de Alberto Balil, que entre 1968 y 1972 ejerce como profesor agregado en la universidad compostelana (Armada, 2003-05: 263). A pesar de su corta estancia en Santiago y de su dedicación

6. Existe una edición en gallego de esta obra a cargo de J. R. Vidal Romaní publicada por Ed. do Castro en 1985, incluyendo una presentación de I. Parga Pondal.

preferente a la arqueología clásica, Balil mantiene sus vínculos con Galicia y desempeña desde la Universidad de Valladolid un papel relevante en la dirección de trabajos académicos sobre metalurgia protohistórica, en concreto las tesinas de Pérez Outeiriño y Sierra sobre arracadas castreñas y el depósito de Samieira respectivamente; las publicaciones derivadas de dichos trabajos son prologadas por el propio Balil (1982 y 1984)[7].

La articulación de proyectos colectivos en esta etapa abarca también el ámbito de la minería antigua, concretándose inicialmente en las prospecciones dirigidas por J. M. Luzón en la comarca de O Courel durante los años 1977 y 1981 (Luzón y Sánchez-Palencia, 1980; Luzón, 1983). Esta línea de trabajo tendrá continuidad en varios proyectos dirigidos desde los años 80 por F.-J. Sánchez-Palencia en zonas colindantes con Galicia, como el área minera de Las Médulas (Sánchez-Palencia, 2000; Sánchez-Palencia *et al.,* 2008; Fernández-Posse *et al.,* 1993).

Durante estos años surgen también iniciativas novedosas sin continuidad en Galicia, como la datación por radiocarbono de restos de madera conservados en el interior de utensilios metálicos, caso de un ástil de lanza del depósito de San Esteban del Río Sil (fecha CSIC-215) (Almagro-Gorbea, 1977: 522). No en vano, en el ámbito arqueométrico la atención principal sigue centrándose en los estudios de composición, dando lugar —en paralelo a los proyectos sistemáticos ya mencionados— a un panorama heterogéneo y con resultados dispares que más abajo resumiremos.

3.1. Studien zu den Anfängen der Metallurgie

La primera serie analítica homogénea de objetos gallegos se realiza en el marco del proyecto *Studien zu den Anfängen der Metallurgie* (más conocido como SAM). Este proyecto llevó a cabo desde el *Landesmuseum* de Stuttgart un elevado número de análisis (unos 22.000) por espectrometría de emisión sobre objetos prehistóricos europeos de base Cu, publicados en tres entregas aparecidas en 1960, 1968 y 1974. Su principal objetivo era el estudio de la procedencia y circulación del metal a partir del análisis de composición, lo que implicó clasificar los materiales en distintos grupos según sus características compositivas. Pese al enorme esfuerzo invertido, la iniciativa pronto recibió fuertes críticas que subrayaron las deficiencias de su planteamiento de partida (p.e. Tylecote, 1970; Coles, 1970; Slater y Charles, 1970); visto en perspectiva, quizá su principal aportación fue relanzar el debate sobre la procedencia del metal desde bases científicas, así como estimular la realización de nuevos estudios. En nuestro país son diversos los trabajos que han realizado una valoración crítica del proyecto SAM (entre otros, Martínez Navarrete, 1989: 193-197; Montero, 1994, 2000 y 2002; Comendador, 1997 y 1998; Sarabia, 1998: 20-21; Fernández Manzano y Montero, 2001: 44-45), por lo que seremos breves en nuestra explicación.

El posicionamiento teórico asumido por el equipo alemán era de carácter difusionista y presuponía la existencia de unos cuantos talleres regionales en la Prehistoria europea que serían reconocibles por las características de su composición (Montero, 2002: 58). El principal problema fue que la realidad se demostró bastante más compleja y la adopción de un enfoque paneuropeo mostró la gran variabilidad de las composiciones, así como la dificultad de asignar materiales concretos a los grupos establecidos. A esta complicación se añadían además algunos problemas de carácter metodológico e instrumental. El proyecto se ceñía exclusivamente a los objetos manufacturados, prescindiendo tanto de minerales como de restos metalúrgicos vinculados a la cadena de producción (Sarabia, 1998: 21; Montero, 2002: 58); de este

7. Sierra et al. (1984: 13) atribuyen a Balil "haber propulsado al (sic) inicio de los estudios de Arqueometalurgia en España". Entre los trabajos emanados de su "escuela" se encuentra también la tesis de J. Fernández Manzano sobre el utillaje metálico del Bronce Final en la Meseta norte, que también prologa, insistiendo en la necesaria orientación interdisciplinar de estos estudios y en la importancia de la "definición de los recursos mineralógicos (...), tanto en Galicia como en la Meseta" (Balil, 1986: 7).

modo, se ignoraban las características del mineral, las grandes variaciones de composición que pueden existir dentro de una misma mineralización o los cambios que se producen en el paso de mineral a metal (Montero, 2002: 58; Fernández Manzano y Montero, 2001: 45; Martínez Navarrete, 1989: 193-197). El elevado repertorio manejado ocasionó algunos errores y problemas a la hora de identificar los objetos analizados. Por otro lado, se demostraron también las dificultades para establecer comparaciones con análisis posteriores, debido a que los valores, tanto en elementos mayoritarios como minoritarios, se expresan en ocasiones de manera poco precisa como "mayor de" o "en torno a" (Comendador, 1998: 148; Montero, 2000: 21). Este problema de fiabilidad quedó patente al reanalizar piezas con otras técnicas que mostraron resultados divergentes, tal como queda de manifiesto en algunos materiales gallegos (Comendador, 1997: 52-55).

Salvo alguna excepción puntual como el hacha de Gontán (análisis SAM nº 2202), la mayoría de los análisis de objetos gallegos se sitúan entre los números 7547 y 7583 (Junghans *et al.,* 1968: 208-209), correspondiendo principalmente (21 análisis de 36) a hachas planas y hachas de tipo Bujões-Barcelos o de filo desarrollado; no obstante, también se incluyeron otros objetos como el puñal de A Bastida, una preforma y algunos puñales del depósito de Roufeiro o la espada de Forcas. Publicaciones posteriores han recogido y comentado estos análisis, en algunos casos advirtiendo sus limitaciones (Sierra, 1979; Comendador, 1997, 1998 y 1999a; Suárez Otero, 2000: 24-25).

El programa analítico del proyecto SAM implicó igualmente un ambicioso trabajo de análisis sobre oros prehistóricos a escala europea, incluyendo piezas peninsulares (Hartmann y Kalb, 1969) y algunos datos analíticos sobre objetos del Norte de Portugal a principios de los 70 (Hartmann, 1971). La mayor parte del repertorio obtenido sobre materiales de la Península Ibérica no vio la luz sin embargo hasta principios de los años 80 (Hartmann, 1982). La metodología empleada para estos análisis fue la microscopía óptica de emisión para la detección de los elementos traza, recurriéndose a los análisis por vía húmeda o mediante gravedad específica para elementos como la plata (Hartmann, 1982).

Las series del proyecto SAM incorporan unos 70 nuevos análisis para materiales de Galicia, en su mayoría sobre piezas de oro de las provincias de A Coruña y Pontevedra. Destacan por su número los trabajos realizados sobre el conjunto de la Edad del Bronce de Caldas de Reis, al que corresponden 36 de los análisis publicados, junto a otras piezas pertenecientes a las primeras etapas metalúrgicas (Pérez Outeiriño, 1990-91 y 1999; Comendador, 1998). Para momentos posteriores, los de diversos torques castreños, incluyendo buena parte de las piezas conservadas en el Museo Arqueológico Nacional (García Vuelta, 2007) y también conjuntos como los del castro coruñés de Elviña o Sta. María de Foxados, junto a otros materiales (Pérez Outeiriño, 1989).

Al igual que sus resultados sobre materiales de base Cu, las series analíticas del proyecto SAM para piezas de oro fueron pronto objeto de discusión y observaciones (p.e. Raftery, 1971; Harbison, 1971), que se han mantenido a lo largo del tiempo (Warner, 2004). En nuestro país estos trabajos han sido igualmente discutidos tanto desde el punto de vista teórico-metodológico como por los problemas de interpretación de sus resultados (Perea, 1991: 31-35, 66-68). Parte de las críticas obedecen a las mismas causas de escala o planteamientos generales ya expuestas para el resto de trabajos del programa. Otras inciden en cuestiones como la sobrevaloración de las mediciones en algunos elementos (Ag), la confusa interpretación de los resultados, sus problemas de uso y comparación posterior, o la metodología de muestreo utilizada[8].

8. Incorporando en la mayoría de los casos —al igual que en los materiales de base Cu— un único análisis por objeto sin aportar referencias claras para la adecuada identificación de la zona de la pieza analizada. De igual manera, estos análisis no tienen en cuenta la presencia de diferentes elementos estructurales en las piezas, bien documentados en el Noroeste especialmente en materiales datados en la Edad del Hierro (Armbruster y Perea, 2000; García Vuelta y Montero, 2007).

La clasificación de los oros en grupos cerrados, definidos a partir de la medición de intervalos de impurezas en las composiciones sobre objetos acabados, ha sido igualmente objeto de críticas. Dichos grupos fueron utilizados para la explicación de cuestiones como la procedencia y origen de los oros, o el análisis de relaciones interregionales y comerciales (Hartmann y Kalb, 1971; Hartmann, 1982). Sin embargo, no se dispone de series comparativas sobre oros de mina o placeres fluviales que permitan validar o comparar adecuadamente estas clasificaciones, que muestran además poca valoración de aspectos como la posible refundición de los objetos (Pérez Outeiriño, 1990-91: 120-121; Montero y Rovira, 1991: 10-11; Comendador, 1998: 148-149; Perea, 1999: 309-310). Los grupos de clasificación obtenidos del análisis de piezas del Noroeste peninsular han sido discutidos por diversos autores en función de las diferentes etapas de producción (Pérez Outeriño, 1989 y 1990-91; Montero y Rovira, 1991: 10-11; Comendador, 1998: 148; García Vuelta y Montero, 2007: 107-110).

3.2. Iniciativas desde Galicia: del optimismo al pesimismo

Las carencias detectadas en el proyecto SAM mostraron la necesidad de vincular la investigación analítica a la información arqueológica, así como la importancia de estudios a una escala geográfica más reducida (Martínez Navarrete, 1989: 195-197). Al mismo tiempo, la determinación de la procedencia fue abandonándose como objetivo prioritario en la investigación arqueometalúrgica.

Estos cambios de tendencia se reflejan en las iniciativas gallegas emprendidas desde los años 70 por estímulo de Alberto Balil y dirigidas por José Carlos Sierra[9]. Las instituciones implicadas son en un principio la Universidad de Santiago y, a continuación, la Sección de Arqueología del IEGPS (CSIC), contando con la colaboración de los museos gallegos; los análisis se realizan en la Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste (AIMEN) de Vigo y en el CENIM (CSIC, Madrid). En una primera publicación se recogen análisis de siete hachas de talón del SO de Galicia depositadas en el Museo de Pontevedra, tres de procedencia desconocida o dudosa y cuatro pertenecientes al depósito de Altín-Noalla (Sierra 1978: 11-15, lám. I). En este caso los análisis son obra del AIMEN y se efectúan bajo la dirección del Dr. Priegue Guerra por espectrofotometría de absorción atómica, determinando 14 elementos y extrayendo las muestras en el lateral de las piezas (Sierra, 1978: 16-18, n. 24); estos análisis muestran ya la naturaleza ternaria de las aleaciones, en algunos casos con una alta tasa de Pb, característica que se verá confirmada en análisis posteriores de este tipo de hachas. En el estudio se presentan además cuatro metalografías correspondientes a dos de las piezas (Sierra, 1978: 29-32, láms. II-III). El discurso desarrollado a lo largo del trabajo es indicativo del cambio de perspectiva aludido, pues el objetivo principal consiste en estudiar la tecnología de fundición y establecer la posible relación con mineralizaciones concretas a partir del patrón de impurezas, aspecto el segundo que se plantea de forma muy preliminar y sugiriendo la necesidad de ampliar la muestra, caracterizar las mineralizaciones y localizar posibles vestigios de minería antigua.

La segunda publicación relevante —esta vez en colaboración con investigadores del CENIM— es la monografía sobre el depósito de Samieira, donde se muestra especial interés en la tecnología de fundición, el problema de las aleaciones ternarias con elevada tasa de Pb y su posible explicación a partir de las relaciones comerciales con el área tartésica (Sierra *et al.,* 1984: 32-37). En este caso se analizaron 55 hachas, extrayendo las muestras mediante taladro en la zona central lateral, por debajo de las anillas;

9. En junio de 1973 este investigador lee en la Universidad de Valladolid su tesina sobre el depósito de Samieira (Sierra, 1978: 11). En ese año y a instancias del propio Balil sitúa Sierra el origen de los "estudios continuados" sobre la metalurgia del Bronce Final en la Península Ibérica, aunque los principales resultados no se publican hasta algunos años más tarde (Sierra, 1978; Sierra *et al.,* 1984). Hemos consultado a este respecto el documento mecanografiado *Ciencia e arqueoloxía en Galicia. Resumo da conferencia de Xosé C. Sierra Rodriguez,* firmado en Ourense con fecha del 31 de noviembre de 1985 y que fue entregado a los asistentes de las jornadas *Ciencia e Arqueoloxía. Os métodos e a súa aplicación en Galicia* (Santiago, 4-6 de diciembre de 1985).

todos los ejemplares fueron radiografiados en el laboratorio del CENIM, lo que proporcionó una relevante información sobre la abundancia de vacuolas y rechupes internos en la estructura del metal. Otra parte importante del estudio fue la realización de comprobaciones experimentales con diferentes tipos de aleaciones, temperaturas de colada y moldes, contrastando los resultados con análisis de composición y radiografías (Sierra *et al.,* 1984: 79-107).

Con estos precedentes, se pone en marcha el *Proxecto para a Investigación Arqueometalúrxica de Galicia,* mediante la suscripción de un convenio entre la Dirección Xeral de Patrimonio de la Xunta de Galicia y la Sección de Arqueoloxía del IEGPS, contando con la colaboración del AIMEN de Vigo, del Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago y de varios museos gallegos. En el marco de este proyecto se realizan numerosos análisis de objetos prerromanos y romanos, incluyendo además una serie de oros protohistóricos[10]. A pesar de este reconocimiento institucional, en general los resultados de esta iniciativa permanecen inéditos en la actualidad; únicamente se han dado a conocer un escaso número de análisis en publicaciones posteriores (Comendador, 1999a)[11].

Otro grupo de análisis realizados desde Galicia son fruto de la colaboración entre diversos arqueólogos y F. Guitián Rivera, del Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago. Esta colaboración arranca de los años 70, momento en el que se publica el estudio de algunos crisoles castreños (Guitián y Vázquez Varela, 1975). Algunos trabajos de las décadas siguientes incluyen análisis de composición realizados en el mismo centro, tanto de objetos de base Cu como de base Au; entre los primeros cabría mencionar una punta de lanza de Deixebre o un fragmento de espada de Oleiros (Meijide y Acuña, 1985), contándose entre los segundos el torques de Orbellido (Acuña y Casal, 1984-85) o la arracada de Baroña (Calo y Soeiro, 1986: 19-20). Estos análisis no poseen un número de identificación —o al menos nunca se cita— y el grado de información ofrecido en las publicaciones no siempre es satisfactorio en cuanto concierne a aspectos como la técnica empleada, la zona analizada, etc.[12]

A modo de balance general, cabría señalar que la mayor parte de las aportaciones producidas en Galicia durante este período estuvieron centradas en estudios de composición elemental, enfocándose al análisis de productos acabados o manufacturas, en detrimento de otras evidencias de producción. Los estudios se concentraron de forma predominante en materiales de base Cu y fechables en la Edad del Bronce. Los análisis fueron realizados generalmente por especialistas, aunque —en la mayoría de los casos— en laboratorios no especializados en estudios arqueometalúrgicos. En este período se detecta un incremento en los métodos y técnicas empleados pudiendo mencionarse la fluorescencia de RX (XRF), la difración de RX (XRD), la absorción atómica (AAT), la espectrometría de plasma (ICP), la microscopía electrónica de emisión (SEM) y microscopía electrónica de barrido (MEB), así como la micrografía, la metalografía o la radiografía, junto a algunos intentos experimentales.

A pesar de que las aportaciones de estos años suponen un avance significativo, este período se cierra con un ambiente de rechazo hacia los estudios arqueometalúrgicos que pone fin al relativo clima de "optimismo arqueométrico" que se observa a mediados de los 80. En esta situación influyen factores diversos que en parte pueden hacerse extensibles a otros lugares de la Península. Entre ellos, cabría aludir a la falta de formación previa de los arqueólogos sobre los métodos arqueométricos y sus posibili-

---

10. J.C. Sierra: *Ciencia e arqueoloxía en Galicia. Resumo…* (documento mecanografiado citado en la nota anterior).

11. Peña Santos (1992a: 375) señala también la falta de publicación de los resultados de este convenio, indicando que fue suscrito en agosto de 1984, contando con una dotación presupuestaria de dos millones de pesetas y un plazo de ejecución de seis meses.

12. En el caso de algún análisis más reciente, como la punta de lanza de Brandariz (Suárez Otero y Carballo, 2001: 11), se precisa que la técnica empleada es EDXRF con un equipo Kevex 7077, con excitación de SEM, ISI, Súper 3A.

dades, así como de los técnicos y científicos acerca de las cuestiones arqueológicas a resolver o las particularidades del trabajo con este tipo de materiales. Esta situación es reflejo de un insuficiente diálogo previo en el diseño de los objetivos de investigación y la elección de las metodologías. Otras limitaciones a destacar serían la falta de repertorios de referencia suficientes para el conocimiento de las aleaciones o fuentes de abastecimiento de materias primas; problemas de escala para extrapolar los resultados de proyectos generales como SAM a niveles regionales o microrregionales; dificultades de comparación entre los resultados de los distintos proyectos; o la falta de una publicación sistemática de los trabajos realizados.

En lo que respecta al balance patrimonial, hay que añadir a lo anterior los problemas administrativos y de integridad de los materiales producidos en el transcurso o a consecuencia de estos estudios, que hicieron igualmente partícipes de este ambiente negativo a las instituciones responsables de la gestión y conservación de los materiales. La aplicación de algunas técnicas de carácter destructivo dio lugar en muchos casos a un notable deterioro de los objetos, motivado por la preparación y extracción no siempre cuidadosa de las muestras a analizar. En otras ocasiones, fueron los movimientos y traslados de materiales los que ocasionaron diferentes problemas de índole museográfica, llegando a producirse incluso la descontextualización o pérdida de control de algunas piezas analizadas.

4. LA CONFIGURACIÓN DE UN NUEVO PANORAMA: DESDE 1990 AL MOMENTO ACTUAL

En buena parte como resultado de las situaciones anteriores, el inicio de los años 90 en Galicia está marcado por un cierto clima de continuidad. Sin embargo, a lo largo de esta década, las líneas de actuación existentes se enriquecerán con nuevas aportaciones que van a interactuar con los trabajos desarrollados a nivel autonómico y que hay que contemplar en el marco de una perspectiva más amplia.

4.1. Continuidad de las iniciativas aisladas y síntomas de cambio

Durante estos años y hasta el momento actual continuan publicándose análisis realizados por F. Guitián en la Universidad de Santiago, tanto en objetos de base Cu (Suárez Otero, 2000: 18; Suárez Otero y Carballo, 2001: 11) como de base Au, entre los que cabría citar varias tortas planoconvexas a las que luego aludiremos (Pérez Outeiriño, 1992; Vigo, 2007: 234). En general, estas aportaciones, así como las realizadas en otros laboratorios gallegos (Ares *et al.,* 1994), corresponden a análisis puntuales que prosiguen la tónica de los aparecidos en la década anterior en cuanto a sus características de publicación.

No obstante, se aprecia también una voluntad de lograr una mayor integración entre la información analítica y el registro arqueológico, así como un intento de obtener series amplias de análisis en laboratorios especializados. Reflejo de esta tendencia es, por ejemplo, la monografía sobre el castro de Torroso (Peña Santos, 1992b), que incluye los análisis de 38 piezas y restos de fundición realizados en el marco del *Proyecto Arqueometalurgia* —al que luego nos referiremos—, así como una valoración de los mismos (Peña Santos, 1992b: 36-38, 121-126). La colaboración con el citado proyecto se refleja también en la tesis doctoral de Comendador sobre el origen de la metalurgia en el NO peninsular (Comendador, 1997, 1998 y 1999b).

A partir de la década de los 90 aparecen también los primeros análisis de composición de monedas romanas halladas en Galicia (Cavada, 1994 y 2005; Cavada y Arias, 2004), correspondiendo los resultados publicados hasta la fecha a tres tesorillos. Dos de ellos, procedentes de Chantada y Lugo, fueron analizados inicialmente por F. Guitián por medio de XRF; luego algunas monedas se estudiaron mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido en el AIMEN (Cavada, 1994 y 2005: 63-64). El tercer conjunto, procedente de Terra Chá (Lugo), se analizó mediante XRF en el Departamento de Análisis

Instrumental del Centro de Apoyo a la Actividad Científica, Tecnológica e Investigadora (CACTI) de la Universidad de Vigo (Cavada y Arias, 2004; Cavada, 2005: 64).

Los estudios sobre orfebrería apoyados en datos arqueométricos manifiestan en parte una relativa continuidad con el período anterior. Algunos de estos trabajos se nutren de una revisión de los resultados y clasificaciones establecidas desde el Proyecto SAM para elaborar aproximaciones actualizadas sobre las diferentes etapas metalúrgicas. Al igual que a mediados de los años 80, observamos la publicación puntual de algunos análisis sobre nuevos hallazgos de piezas o evidencias de producción. En ambos sentidos, podemos destacar aportaciones como las de B. Pérez Outeriño sobre las composiciones de los primeros oros de Galicia (1990-91 y 1999) o la publicación de tres nuevos análisis por XRF de tortas o lingotes plano-convexos de oro y plata de los yacimientos de Castromao, Troña y Corvazal, realizados —como ya señalamos— en el laboratorio de Edafología de la Universidad de Santiago (Pérez Outeiriño, 1992: 110-113). En la práctica, sin embargo, siguen en vigor los mismos problemas de investigación que en las etapas previas, afectando a cuestiones como la cronología o la adecuada contextualización e interpretación de los materiales. A ello hay que sumar además la carencia de datos analíticos suficientes o la falta de una adecuada publicación de la información relativa a los hallazgos, factores que explican la publicación de tipologías o catálogos que muestran escasa atención hacia la información analítica.

En los últimos años se aprecia una diversidad de aproximaciones en los estudios sobre arqueometalurgia, incluyendo los primeros análisis sobre siderurgia, de yacimientos como Santa Comba, O Peto o Neixón (Gómez Filgueiras, 2002 y 2003; Aboal *et al.,* 2003; Ayán *et al.,* 2007); estudios de la paleopolución derivada de actividades metalúrgicas (Martínez Cortizas *et al.,* 1997 y 2002); o los primeros intentos de aplicación de nuevas técnicas como SRS-radiación sincrotrónica o difracción de neutrones (TOF) (Comendador *et al.,* e.p.; Bidaud *et al.,* 2006; Bettencourt y Comendador, e.p.). Las posibilidades de la aplicación de estas nuevas técnicas así como las aportaciones desde el punto de vista de la arqueología experimental y la conservación/musealización de los metales han sido también recientemente revisadas (Comendador y Méndez, 2006 y 2007). En algunos casos, estas aportaciones implican la colaboración con nuevos laboratorios, tanto de España como del extranjero.

4.2. La aportación de los programas de investigación planificada

A lo largo de los años 90 se produce un importante punto de inflexión en los estudios arqueometalúrgicos en nuestro país, en buena medida motivado por la consolidación de sólidas iniciativas de investigación interdisciplinar iniciadas en la década anterior. A diferencia de los proyectos desarrollados en los años 60 y 70, estas iniciativas tienen como característica común su aplicación mediante actuaciones a corto-medio plazo, cuyos resultados se incorporan a programas de investigación más amplios, sustentados por marcos conceptuales y metodológicos bien definidos, orientados a generar nuevos repertorios de información.

Entre estos programas destaca el proyecto *Arqueometalurgia de la Península Ibérica* (API), iniciado en 1982, que por sus numerosas contribuciones científicas y por el volumen de información analítica generado (Rovira *et al.,* 1997; Delibes y Montero, 1999; Rovira y Gómez, 2003) ha pasado a convertirse actualmente en el principal referente de la investigación arqueometalúrgica a nivel nacional. Otra iniciativa a destacar, en este caso centrada en el estudio de la metalurgia del oro, es el denominado Proyecto AU, dirigido por la investigadora Alicia Perea y desarrollado desde el Dpto. de Prehistoria del Instituto de Historia del CSIC, en colaboración con otras instituciones y en estrecha relación con el programa API (Perea, 2000)[13]. Finalmente, pueden citarse los trabajos desarrollados desde el Grupo de Investigación Estructura

13. Ambos programas constituyeron a mediados de los años 90 la línea de investigación “Historia de la tecnología: Arqueometalurgia” (http://www.ih.csic.es/paginas/arqueometalurgia/index.htm) (Perea et al. 2008).

Social y Territorio-Arqueología del Paisaje, dirigido por el Dr. F. J. Sánchez-Palencia (CCHS-CSIC). Desde los años 80, este equipo ha realizado importantes contribuciones para el conocimiento de los modos de obtención y aprovechamiento de la materia prima en el ámbito castreño, de las transformaciones producidas en estas sociedades bajo la presencia romana o del reflejo de dichas transformaciones en el paisaje (Sánchez-Palencia y Fernández-Posse, 1998; Sánchez-Palencia, 2000; Sánchez-Palencia *et al.,* 2008).

4.2.1. El Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica

El objetivo del proyecto API es profundizar en el conocimiento de la metalurgia prehistórica peninsular combinando nueva información derivada de los análisis de composición —centrados fundamentalmente en la metalurgia prehistórica de base Cu— con los datos procedentes del registro arqueológico. La mayor parte de los datos analíticos generados desde este programa han sido obtenidos mediante la técnica no destructiva de ED-XRF (Rovira *et al.,* 1997), aunque en menor medida ha desarrollado otros estudios apoyados en técnicas como MEB-MSE, PIXE o PIGE, en colaboración con diversos laboratorios dentro y fuera del territorio peninsular. Pueden destacarse también sus líneas de trabajo en metalografía o análisis de microdureza (Rovira y Gómez, 2003; Perea *et al.,* 2008: 132, 135).

La estimación de la información aportada por este proyecto es suficientemente ilustrativa. Hasta la fecha, se han realizado más de 20.000 análisis —cerca de 18.000 obtenidos mediante XRF con equipamiento propio— sobre objetos de base Cu, y en menor medida de Au, Ag o Pb, datados desde la Prehistoria a la Edad Media. A esta cifra hay que añadir además las resultantes de sus estudios por MEB–MSE sobre escorias o restos relacionados con la producción metalúrgica —donde se incluyen también materiales de base Fe—, que suman unos 6.000 análisis de unos 1.200 objetos, así como las de los estudios metalográficos, con un repertorio de más de 2.500 imágenes, junto a otros datos (Rovira y Gómez, 2003: 43 ss.; Perea *et al.,* 2008: 135).

Las actuaciones realizadas en el marco de este programa han afectado a diversos yacimientos y materiales de Galicia, contribuyendo a través de diferentes proyectos de investigación[14] a un aumento significativo del volumen de estudios y datos analíticos disponibles para el conocimiento de la metalurgia prehistórica de esta región, especialmente la de sus primeras etapas (Rovira *et al.,* 1997; Comendador, 1998 y 1999b).

Parte de los resultados analíticos obtenidos fueron publicados en el primero de los tres volúmenes aparecidos hasta la fecha de la obra *Las primeras etapas metalúrgicas de la Península Ibérica* (Rovira *et al.,* 1997). Este trabajo incorpora un corpus de 2.099 análisis por XRF sobre aproximadamente 2.060 objetos, minerales y restos metalúrgicos en su mayor parte de procedencia española y base Cu, fechados desde el Calcolítico al Bronce Medio. De estos análisis, 83 corresponden a materiales gallegos (Rovira *et al.,* 1997: 9), representando un 3,9% de los datos publicados en esos momentos[15]. La mayor parte de los análisis se obtuvieron sobre objetos acabados de base Cu, aunque puede citarse alguna aportación sobre materiales relacionados con el proceso de producción, como un fragmento de crisol de O Fixón (Rovira *et al.,* 1997: 308, análisis PA6651); se incorporan además al repertorio seis análisis sobre espirales de plata de los hallazgos de Antas de Ulla y Atios (Rovira *et al.,* 1997: 307, 311).

Todos estos datos se vieron complementados por la aparición de los dos siguientes volúmenes de esta obra, apareciendo en el segundo una revisión actualizada de la investigación sobre estas etapas en

14. Puede citarse, entre otros, el proyecto *Archaeometallurgy of Iberian Peninsula. Technology and cultural change during Bronze Age* (DGICYT PB92, Nº 0315) (Comendador, 1998 y 1999b; Rovira *et al.,* 1997).

15. De los análisis publicados en 1997 para Galicia, 24 corresponden a piezas de la provincia de A Coruña, 8 de la provincia de Lugo, 20 de la provincia de Ourense y 31 de la provincia de Pontevedra (Rovira *et al.,* 1997: 9).

Galicia (Comendador, 1999b). En 2003 el tercer volumen incorpora 11 estudios metalográficos sobre materiales de Galicia fechados en el Calcolítico y Bronce Antiguo, procedentes de las provincias de A Coruña y Pontevedra. En este caso, se trata de piezas previamente revisadas en el marco del proyecto (Rovira *et al.,* 1997; Comendador, 1998), incluyendo dos punzones de Guidoiro Areoso, dos puntas palmela procedentes del hallazgo de Veiga dos Mouros (Vilavella, As Pontes), cuatro puñales de lengüeta procedentes de los hallazgos coruñeses de Monte das Penas, Leiro y Sta. Comba, así como de Atios, en Pontevedra. Entre los materiales datados en el Bronce Antiguo, se recoge una alabarda de Leiro, un hacha de la provincia de Pontevedra y un adorno en espiral de Atios, fabricado en plata (Rovira y Gómez, 2003).

Aunque en su conjunto estos datos constituyen el mayor volumen de información publicado por el Programa API para Galicia, las últimas aproximaciones analíticas realizadas desde este proyecto, en parte en fase de publicación, siguen contribuyendo a aumentar el volumen de datos disponibles para otros períodos cronológicos, como el Bronce Final (Rovira, 1995 y 2004; Montero *et al.,* 2003)[16].

Se han publicado igualmente 42 nuevos análisis de RXF sobre materiales de base Au y Ag datados en la Edad del Hierro, en su mayor parte de torques de oro castreños. Dos de estos análisis corresponden a un ejemplar procedente de Santiago de Xubial (A Coruña), conservado en el Gabinete de Antigüedades de la Real Academia de la Historia (Almagro-Gorbea *et al.,* 2004: 306-307). Otros 40 análisis se obtuvieron en colaboración con el Museo Arqueológico Nacional, 17 de los cuales corresponden a un supuesto hallazgo procedente de Cospeito (Lugo), 21 a un lote de piezas de oro con procedencia incierta en Galicia y dos a un torques de plata procedente de Sobrado dos Monxes (A Coruña) (García Vuelta, 2007: 123-178, 251-252; García Vuelta y Montero, 2007)[17].

A estos trabajos, hay que sumar también aproximadamente otros 50 análisis realizados sobre monedas en su mayor parte romanas, contabilizándose 33 análisis de hallazgos procedentes de los yacimientos lucenses de Sta. María, El Pedregal y Plaza Mayor, así como 14 de los castros de San Cibrán de Las y Sta. María, Cervantes, en la provincia de Ourense. Se han analizado también cerca de una veintena de minerales (malaquitas) de las minas de Antolada y O Seixo, en la provincia de Lugo. En la actualidad, las bases de datos del proyecto cuentan con un conjunto de aproximadamente 350 análisis por RFX para Galicia, en su mayor parte de base Cu.[18]

4.2.2. El proyecto AU

Comienza a gestarse desde 1982 por iniciativa de la investigadora Alicia Perea, desarrollando sus actuaciones desde finales de los años 80 en el seno del CSIC[19]. Actualmente, constituye otro de los más importantes programas de investigación interdisciplinar desarrollados en la Península, centrado en este

16. Destaca en este sentido el estudio de las colecciones de hachas de talón conservadas en el Museo Arqueológico Nacional y el Instituto Valencia de Don Juan, realizado respectivamente en el seno de los proyectos *Caracterización tecnológica de la metalurgia del Bronce Final en la Península Ibérica* (Ministerio de Ciencia y Tecnología, BHA2001-0248) y *Metales prehistóricos en el Instituto Valencia de Don Juan* (Comunidad de Madrid, 06/0112/2003).

17. En los trabajos mencionados se tuvieron en cuenta aspectos no considerados en repertorios analíticos previos (Hartmann, 1982), como los diferentes elementos estructurales diferenciables o las técnicas de fabricación documentadas en los objetos (Armbruster y Perea, 2000). Cabe destacar también la realización de algunos nuevos análisis sobre materiales castreños previamente análizados, como los fragmentos correspondientes a uno de los torques del lote con procedencia supuesta de Cangas de Onís, en Asturias (MAN 33.133-37-38), anteriormente estudiado desde el Proyecto SAM (García Vuelta y Montero, 2007: 107-108).

18. Debemos agradecer a Ignacio Montero la información facilitada sobre los análisis de materiales gallegos realizados en el marco del proyecto.

19. Inicialmente desde el Dpto. de Prehistoria del Centro de Estudios Históricos y posteriormente desde el mismo Departamento en el Instituto de Historia. En la actualidad forma parte del Grupo de investigación *Arqueometal,* en el Centro de CC. Humanas y Sociales.

caso en la metalurgia del oro (Perea 1991 y 2000; Perea et al. 2004). Aunque inicialmente sus actuaciones se orientaron al estudio de la orfebrería prehistórica, el Proyecto Au ha extendido también sus líneas de trabajo a otros metales (Ag, Cu) y períodos cronológicos, abarcando desde la Prehistoria a la Edad Media (Perea *et al.,* 2008: 134-135, 140).

Desde el punto de vista teórico, este programa centra su interés en el estudio diacrónico de la tecnología de las sociedades prehistóricas, a partir tanto del análisis de sus procesos y factores de cambio, como de las consecuencias e implicaciones que suponen estas transformaciones. Desde estos planteamientos, ha contribuido a la investigación con significativas aportaciones. Entre éstas, podemos destacar las realizadas para la identificación y caracterización de los distintos ámbitos tecnológicos detectables en la metalurgia del oro peninsular durante el Bronce Final (Perea 1995 y 2005) y la Edad del Hierro (Armbruster y Perea, 2000), o su valoración del grado de especialización artesanal como un indicador válido para el análisis socioeconómico de estas sociedades (Perea *et al.,* 2008: 129-130).

Metodológicamente, combina el uso de técnicas orientadas al estudio topográfico de los materiales con la aplicación de análisis de composición realizados a partir de una consideración previa de estos datos. La mayor parte de los estudios analíticos o de microestructuras han sido realizados mediante técnicas MEB-MSE y en menor medida mediante PIXE, en colaboración con diferentes laboratorios y equipos de trabajo dentro y fuera del territorio nacional[20].

Los estudios y proyectos desarrollados por este programa han dado lugar a un importante corpus de información gráfica y analítica, actualmente recogido en el denominado Repertorio Au de macro y microfotografías metalográficas (Perea *et al.,* 2004). Esta base de datos incluye hasta la fecha unos 2.000 análisis de composición, en su mayor parte obtenidos mediante MSE sobre objetos de base AU, más de 5.000 imágenes macro en formato digital y aproximadamente un millar micrografías de estructuras metalográficas generadas por MEB (Perea *et al.,* 2008: 134).

Principalmente desde mediados de los años 90, el proyecto AU ha desarrollado diferentes actuaciones y estudios sobre materiales gallegos. En este sentido cabe destacar, en el año 2000, el desarrollo del proyecto *Tecnología y valor en la orfebrería castreña de los Museos de Madrid*[21]. En 2001, el proyecto *Aplicaciones analíticas y documentales para la elaboración y difusión de un modelo explicativo de la metalurgia del oro castreño*[22], permitió profundizar en estos estudios, así como la obtención de nuevas imágenes metalográficas y análisis de composición[23], aún en fase de publicación.

Entre las actuaciones más recientes relacionadas con este programa podemos destacar la Acción Bilateral *Recuperando el patrimonio peninsular: estudio tecnológico y analítico del oro prehistórico ibérico en el Museo Británico,* en colaboración con la British Academy, en el año 2004; o el estudio de la colección de oros castreños del Museo Arqueológico Nacional (García Vuelta, 2007).

---

20. Entre las desarrolladas en nuestro país, pueden destacarse numerosas colaboraciones con el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM, CSIC), el Centro Nacional de Aceleradores de la Universidad de Sevilla o el Centro de Microanálisis de Materiales (UAM). Fuera de nuestro país, actuaciones coordinadas con equipos como el Laboratoire d'Analyses par Réactions Nucléaires (Université Notre Dame de la Paix, Namur, Bélgica) o los Laboratoires des Musées de France (Museo del Louvre, Paris), entre otros (http://www.ih.csic.es/paginas/arqueometalurgia/aupro.htm. Último acceso: marzo de 2008).

21. Planteado en función del problema que supone la dispersión y la falta de revisiones actualizadas de los objetos y que hizo posible nuevas revisiones sobre materiales conservados en instituciones como el Instituto Valencia de Don Juan, Fundación Lázaro Galdiano, Real Academia de la Historia o Museo Arqueológico Nacional.

22. Este proyecto y el anterior fueron financiados por la Comunidad de Madrid (Ref: CM 06/0090/00 y CM 06/0043/01 respectivamente).

23. En colaboración con el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM, CSIC) y el Programa Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

Aunque hay que señalar que las aportaciones analíticas realizadas desde el Proyecto Au se han centrado de forma mayoritaria en otras regiones peninsulares, tanto los estudios de materiales del Noroeste como las aportaciones teórico-metodológicas pueden considerarse muy significativas. En primer lugar, han permitido la progresiva incorporación y valoración de un buen volumen de nuevos datos, a partir de una necesaria revisión morfotécnica de los materiales, en muchos casos insuficientemente estudiados. En nuestra área, estos trabajos han contribuido, entre otros aspectos, a la definición y caracterización de un ámbito tecnológico diferenciado para la orfebrería castreña (Armbruster y Perea, 2000 y 2001). Por otro lado, su consideración del estudio de la tecnología documentable en los objetos como un elemento susceptible de aportar información a diferentes niveles ha permitido igualmente el planteamiento de nuevas aproximaciones sobre cuestiones abiertas en la investigación, como son la cronología o el significado de estas producciones en su contexto social (Perea, 2003). Sin duda, ambas perspectivas y sus posibilidades de aplicación suponen una esperanzadora alternativa a los estudios de corte tipológico o estilístico tradicionalmente predominantes en la investigación de este tipo de materiales (Armbruster y Perea, 2000: 98).

5. SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE FUTURO

En líneas generales, podemos considerar que la situación de los estudios arqueometalúrgicos en Galicia ha experimentado una paulatina mejoría respecto a etapas anteriores. A grandes rasgos, estos avances podrían agruparse en torno a tres aspectos: 1) un incremento del número de datos analíticos disponibles; 2) una progresiva incidencia de las nuevas propuestas teóricas y metodológicas surgidas en el marco de programas de investigación de base arqueométrica y analítica; y 3) un aumento del número de instituciones que incorporan este tipo de estudios dentro de sus programas de actuación.

Sin embargo, una valoración crítica no puede quedarse exclusivamente en la evaluación cuantitativa de estos datos. En primer lugar, hay que considerar que el análisis del caso gallego no puede realizarse de forma aislada, ya que en buena medida Galicia refleja situaciones generalizables a todo el ámbito peninsular. Por otro lado, es necesario incorporar al balance un análisis de los factores y situaciones que influyen en el desarrollo de este tipo de estudios en el área, de las expectativas y necesidades suscitadas ante los estudios arqueométricos y de las posibles respuestas o soluciones a aportar tanto desde el campo de la investigación como desde el punto de vista institucional.

El análisis en profundidad de todos estos temas excedería los resultados planteados en esta aproximación. Sin embargo, al abordar de una forma general cuestiones como el nivel de implantación real de estos estudios, o el grado de rentabilización —científica y patrimonial— de los trabajos ya realizados, se observan sin duda algunos datos preocupantes. Entre ellos, podemos señalar notables carencias en cuanto a la publicación de los datos, atención desigual de los estudios respecto a los diferentes materiales y períodos cronológicos, así como una falta de continuidad respecto a líneas de actuación previas y falta de coordinación en las actuales.

Desde un punto de vista más general, hay que sumar además la incidencia negativa de aspectos como son la falta de formación y de diálogo entre los arqueólogos y los técnicos encargados llevar a la práctica los estudios arqueométricos (Montero *et al.,* 2007), una insuficiente implantación del uso y combinación de nuevas técnicas y metodologías o la desvinculación de las líneas de trabajo basadas en estudios arqueométricos del resto de la investigación arqueológica.

Es evidente la necesidad de poner a disposición del colectivo científico, mediante su adecuada publicación, los trabajos previamente realizados como única forma de aprovechamiento, discusión o revisión de los mismos. Como se ha señalado, algunas de las más importantes aportaciones analíticas planteadas en Galicia permanecen todavía inéditas.

Creemos necesario igualmente ampliar el número de trabajos arqueométricos. A pesar de los avances recientes, éstos han afectado de forma desigual a los diferentes períodos cronológicos y grupos de materiales. En la práctica, buena parte de los objetos arqueológicos metálicos conservados en los museos gallegos carecen de cualquier estudio en ese sentido. Por otro lado, en paralelo a la caracterización arqueométrica, entendemos necesario avanzar en el estudio topográfico de los materiales y en su adecuada publicación.

Hay que señalar también la necesidad de una mayor coordinación entre las distintas iniciativas y equipos de trabajo. Como se ha visto anteriormente, los proyectos con base arqueometalúrgica desarrollados en Galicia en los años 80 no han contado con una adecuada continuidad, dando paso en la mayor parte de los casos a actuaciones aisladas y poco coordinadas. Aunque en menor medida algunas iniciativas han permitido obtener nuevos datos en colaboración con grandes proyectos de investigación (Peña Santos, 1992b; Comendador, 1998 y 1999b), los resultados han afectado de forma desigual a las diferentes etapas cronológicas y materiales. En la actualidad, y a pesar del señalado aumento del número de servicios arqueométricos, Galicia carece de un programa coordinado de investigación arqueometalúrgica a nivel autonómico.

Desde el punto de vista procedimental, y en clara relación con lo anterior, es necesaria igualmente una mayor uniformización a la hora de establecer los criterios metodológicos y los protocolos de análisis, incidiendo de igual manera en el uso y combinación de nuevas técnicas. Aunque contamos con algunos ejemplos puntuales desarrollados en el Noroeste peninsular (Soares *et al.,* 2004), estas orientaciones no están afectando adecuadamente al área de Galicia. Otras líneas de trabajo, como los estudios de procedencia a partir de los isótopos de plomo, permanecen sin explorar en la arqueología del Noroeste.

Al mismo tiempo, creemos importante subrayar, en concordancia con lo ya apuntado por diferentes autores, que los estudios arqueométricos no deben plantearse como un fin en sí mismo, sino como una forma de dar respuesta —mediante el uso de las herramientas más adecuadas— a preguntas concretas. Estas preguntas deben ser necesariamente planteadas por el arqueólogo en función de las necesidades de investigación suscitadas en el estudio de los materiales o la interpretación del registro.

De la misma forma, el equipo científico o técnico encargado de realizar estos estudios debe comprender cuál es el problema arqueológico que se intenta resolver para evaluar de forma objetiva cuáles son los procedimientos y técnicas más adecuados a utilizar.

Para incrementar este diálogo, sin embargo, es necesaria sin duda una labor previa de formación, que debe facilitar tanto el conocimiento de los arqueólogos sobre los procedimientos disponibles y sus posibilidades de aplicación, como el de los técnicos acerca de la problemática implícita en el trabajo con este tipo de materiales (Montero *et al.,* 2007: 38-39). El estudio publicado por García Heras (2003) pone de manifiesto que ninguna de las tres universidades gallegas incluye asignaturas de arqueometría en sus planes de estudio[24].

Es necesario igualmente aumentar el diálogo y coordinación entre los propios equipos de trabajo para una necesaria mejora en la normalización de criterios metodológicos y protocolos de trabajo, facilitando de esta manera la creación de nuevos bancos de datos de referencia, la comparación e interconexión de resultados, así como la exploración de nuevas técnicas y procedimientos.

---

24. El Departamento de Historia I de la Universidad de Santiago impartió durante dos cursos académicos el curso de especialización *Tratamento e Análise de Materiais Arqueolóxicos* bajo la dirección de J. Rey Castiñeira y M. Llinares, pero la iniciativa ha carecido de continuidad.

Finalmente, pensamos que se hace necesario acometer desde el ámbito institucional un esfuerzo coordinado orientado tanto hacia una mejora en cuestiones básicas —formación— como al impulso de este tipo de estudios a nivel regional. A nuestro juicio, dicho esfuerzo debe incidir y reflejarse en la creación de un marco de referencia estable para el desarrollo de nuevos estudios interdisciplinares, la unificación de criterios de trabajo y la coordinación de las diferentes líneas de investigación. Con el adecuado apoyo económico e institucional, este marco de referencia permitiría abordar estudios difícilmente asumibles desde iniciativas de investigación aisladas. Por otro lado, la necesaria unificación de los criterios de trabajo y un mayor apoyo para la aplicación de las técnicas disponibles producirán sin duda significativos avances en la investigación. De igual manera, consideramos que la implicación activa en este marco de los distintos actores (ámbito institucional, investigadores, centros y organismos de investigación, instituciones responsables de la conservación de las piezas y empresas) dará como resultado un significativo avance en cuanto a la rentabilización patrimonial y arqueológica de la información.

BIBLIOGRAFÍA

ABOAL, R.; AYÁN, X.M. y PRIETO, M.P. 2003: *Arqueología en la ACEGA 2: el área arqueológica de O Peto (Vedra, A Coruña).* Cadernos de Arqueoloxía e Patrimonio 17. Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente e Paisaxe. Santiago.

ACUÑA, F. y CASAL, R. 1984-85: "Un novo torques de aramios enrolados". *Brigantium* 5: 261-269.

ALMAGRO BASCH, M. 1958: "Museo Arqueológico Nacional. Adquisiciones de 1946 a 1954. Un nuevo depósito del Bronce Final hallado en San Esteban del Río Sil". *Memorias de los Museos Arqueológicos 1954 (extractos), vol. XV.* Ministerio de Educación Nacional – Dirección General de Bellas Artes. Madrid: 21-26.

ALMAGRO-GORBEA, M. 1977: *El Bronce Final y el período orientalizante en Extremadura.* Bibliotheca Praehistorica Hispana XIV. Madrid.

ALMAGRO-GORBEA, M.; CASADO, D.; FONTES, F.; MEDEROS, A. y TORRES, M. 2004: *Real Academia de la Historia. Catálogo del Gabinete de Antigüedades. Prehistoria. Antigüedades Españolas 1.* Real Academia de la Historia. Madrid.

ARES, M.; BASANTA, L. y POMBO, X.A. 1994: "Tres machados de tope e un molde nas terras de Vilalba (Lugo)". *Croa* 4: 6-9.

ARMADA, X.-L. 2003-05: "Los orígenes de la arqueología universitaria en Galicia". En V. Cabrera y M. Ayarzagüena (eds.): *El nacimiento de la Prehistoria y de la Arqueología Científica.* Archaia 3-5: 257-265.

ARMADA, X.-L. y GARCÍA VUELTA, O. 2007: "Senra: historia de un depósito gallego de hachas de talón". En J. Celis et al. (eds.): *El hallazgo leonés de Valdevimbre y los depósitos del Bronce Final Atlántico en la Península Ibérica.* Museo de León. León: 314-329.

ARMBRUSTER, B.R. 2000: *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik. Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel.* Monographies Instrumentum 15. Montagnac.

ARMBRUSTER, B.R. y PEREA, A. 2000: "Macizo/hueco, soldado/fundido, morfología/tecnología. El ámbito tecnológico castreño a través de los torques con remates en doble escocia". *Trabajos de Prehistoria* 57.1: 97-114.

ARMBRUSTER, B.R. y PEREA, A. 2001: "Goldschmiedearbeiten der eisenzeitlichen Castro-Kultur I/II". En M. Blech, M. Koch y M. Kunst (eds.): *Denkmäler der Frühzeit. Hispania Antiqua.* Verlag Philipp von Zabern. Mainz: 389-398.

AYÁN, X.M.; MOLEDO, X.; GONZÁLEZ, L. y GONZÁLEZ, E. 2007: "Etnoarqueoloxía e paleometalurxia de Os Castros de Neixón". *Introdución á minería no Barbanza* (Boiro, 20 e 27 de xaneiro de 2007). http://www.neixon.blogspot.com/

BALIL, A. 1982: "Prólogo" a Pérez Outeiriño, 1982: 7-9.

BALIL, A. 1984: "Prólogo" a Sierra *et al.,* 1984: 11-12.

BALIL, A. 1986: "Prólogo" a J. Fernández Manzano: *Bronce Final en la Meseta norte española: el utillaje metálico.* Junta de Castilla y León. Soria: 7-8.

BETTENCOURT, A.M.S. y COMENDADOR, B. e.p.: "Novos dados sobre a primeira metalurgia de bronze no noroeste peninsular: os contributos da bacia do Leça". *I Jornadas Arqueológicas da Bacia do Río Leça (Matosinhos, Portugal, 27 octubre 2007).*

BIDAUD, E.; BENEDETTI, D.; BUGOI, R.; COMENDADOR, B.; GOIDANICH, S.; GUTIÉRREZ, C.; GARIPOLI, D.; MANTI, P.; MIFSUD, T.; URBINA, V.; KOCKELMANN, W.; SMITH, A.D.; BAHRAMI, F.; MACDONALD, M.A.; BELL, A.T.; JONES, R.L.; RIZKALLAH, P. y PANTOS, E. 2006: "The COST-G8 master class on SR in cultural heritage at DL-SRS and RAL-ISIS". *SR2A06 – Synchrotron Radiation in Art and Archaeology Conference* (Berlin 27-30 September 2006).

BLANCO FREIJEIRO, A. 1957: "Origen y relaciones de la orfebrería castreña". *Cuadernos de Estudios Gallegos XII* (fasc. 36-38): 5-28, 137-157, 267-301.

CALO, F. y SOEIRO, T. 1986: *Castro de Baroña. Campañas 1980/84.* Arqueoloxía/ Memorias 6. Xunta de Galicia. Santiago.

CASTILLO LÓPEZ, A. del 1927: "Prehistoria gallega. Hachas de bronce de talón (hallazgo de un depósito)". *Boletín de la Real Academia Gallega* 194-198: 33-42, 75-84, 95-104, 124-134, 155-164.

CAVADA, M. 1994: *La crisis económico-monetaria del siglo III, ¿un mito historiográfico?: avance del resultado de los análisis metalográficos sobre dos tesorillos de la provincia de Lugo.* Tórculo. Santiago.

CAVADA, M. 2005: "Numismática romana en la provincia de Lugo". *Boletín do Museo Provincial de Lugo* 12.1: 41-70.

CAVADA, M. y ARIAS VILAS, F. 2004: "Revisión dun tesouriño de Antoninianos achado na Terra Chá (Lugo) e resultado das análises metalográficas". *Croa* 14: 17-25.

COLES, J. 1970: Reseña de Junghans *et al.,* 1968. *Antiquity* 44: 233-234.

COMENDADOR, B. 1997: *Los inicios de la metalurgia en el Noroeste de la Península Ibérica [tesis doctoral en CD-Rom].* Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.

COMENDADOR, B. 1998: *Los inicios de la metalurgia en el Noroeste de la Península Ibérica. Brigantium 11.* Museo Arqueolóxico e Histórico Castelo de San Antón. A Coruña.

COMENDADOR, B. 1999a: "Cambios en la escala de producción metalúrgica durante las fases finales de la edad del bronce en el noroeste peninsular". *Actas Congresso de Proto-História Europeia. Revista de Guimarães,* volume especial II: 515-537.

COMENDADOR, B. 1999b: "Noroeste". En Delibes y Montero 1999: 9-39.

COMENDADOR, B. 2003: "Metalurgia, minerales y contactos atlánticos en la Prehistoria del Noroeste peninsular: una reflexión". En J. Fernández Manzano y J.I. Herrán (eds.): *Mineros y fundidores en el inicio de la Edad de los Metales. El Midi francés y el Norte de la Península Ibérica.* Caja España. León: 133-144.

COMENDADOR, B. y MÉNDEZ, J.L. 2006: "A Patina over time: ancient metals conservation in North-Western Iberia". *Looking forward for the Past: Science and Heritage* (Tate Modern, London, 28 Noviembre 2006). Poster y presentación on-line. http://www.srs.ac.uk/scienceandheritage/posters.htm

COMENDADOR, B. y MÉNDEZ, J.L. 2007: "¿Patrimonio o Chatarra?: Arqueología experimental y metal". En M. Ramos, J.E. González y J. Baena (eds.): *Arqueología Experimental en la Península Ibérica. Investigación, didáctica y patrimonio.* Asociación Española de Arqueología Experimental. Santander: 317-328.

COMENDADOR, B.; REBOREDA, S.; KOCKELMANN, W.; MACDONALD, M.; BELL, T. y PANTOS, M. e.p.: "The sources of tin: early bronzes technology and the route to the land's end in North-Western Iberia". En S. Paipetis (ed.): *Science and Technology in Homeric Epics* (Olympia, 27- 30 Agosto 2006). Springer Science.

CORDERO, T.; GARCÍA SANJUÁN, L.; HURTADO, V.; MARTÍN, J.M.; POLVORINOS, A. y TAYLOR, R. 2006: "La arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza". *Trabajos de Prehistoria* 63.1: 9-35.

DELIBES, G. y MONTERO, I. (coords.) 1999: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica: II.* Estudios regionales. Instituto Universitario Ortega y Gasset. Madrid.

EIROA, J.J. 1973: "Análisis metálicos sobre útiles de bronce gallegos". *Estudios del Seminario de Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua* 11: 49-55.

FERNÁNDEZ MANZANO, J. y MONTERO, I. 2001: "El estudio de la metalurgia: una historia de frustraciones y aciertos". En M. Ruiz-Gálvez (coord.): *La Edad del Bronce, ¿primera Edad del Oro de España? Sociedad, Economía e Ideología.* Crítica. Barcelona: 31-54.

FERNÁNDEZ-POSSE, M.D.; MONTERO, I.; SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. y ROVIRA, S. 1993: "Espacio y metalurgia en la cultura castreña: la zona arqueológica de Las Médulas". *Trabajos de Prehistoria* 50: 197-220.

GARCÍA HERAS, M. 1997: "Estudio bibliométrico de los trabajos de caracterización sobre materiales cerámicos arqueológicos en España: una valoración". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 7: 129-150.

GARCÍA HERAS, M. 2003: "Malos tiempos para la lírica. ¿Hay todavía futuro para la arqueología científica en la universidad española?". *Complutum* 14: 7-18.

GARCÍA VUELTA, O. 2007: *Orfebrería castreña del Museo Arqueológico Nacional.* Ministerio de Cultura. Madrid.

GARCÍA VUELTA, O. y MONTERO, I. 2007: "Aportaciones analíticas sobre orfebrería castreña: problemas de caracterización en piezas de la colección del Museo Arqueológico Nacional (Madrid)". *Conimbriga* 46: 89-115.

GÓMEZ FILGUEIRAS, F. 2002: "Paleometalurgia del yacimiento de la isla de Sta. Comba. Cobas, Concello de Ferrol". En VV.AA.: *Sta. Comba, un referente arqueológico de la costa ferrolana.* Sociedade Cultural Columba. Ferrol: 67-157.

GÓMEZ FILGUEIRAS, F. 2003: "Apéndice 1. Estudio de los registros arqueometalúrgicos". En Aboal *et al.,* 2003: 85-93.

GÓMEZ RAMOS, P. 1997: "Historiografía de la Arqueometalurgia en España". *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 37: 139-150.

GUITIÁN, F. y VÁZQUEZ VARELA, J.M. 1975: "Contribución al estudio de la metalurgia del bronce en la cultura castreña". *Gallaecia* 1: 109-118.

HARBISON, P. 1971: “Hartmann’s gold analyses: a comment”. *Journal of the Royal Society of Antiquaries of Ireland* 101: 159-160.

HARTMANN, A. 1971: “Analises de alguns objectos pré-históricos de ouro, procedentes do Norte de Portugal”. *Revista de Guimarães* 81: 129-132.

HARTMANN, A. 1982: Prähistorische *Goldfunde aus Europa II. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung.* SAM 5. Gebr. Mann Verlag. Berlin.

JUNGHANS, S.; SANGMEISTER, E. y SCHRÖDER, M. 1968: *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen Nr. 985-10040. SAM 2.3.* Römish-Germanisches Zentralmuseum. Gebr. Mann Verlag. Berlin.

KALB, P. y HARTMANN, A. 1969: “Investigaciones espectroanalíticas sobre hallazgos hispánicos de oro”. *Archivo de Prehistoria levantina* 12: 93-98.

LÓPEZ CUEVILLAS, F. 1925: “Os oujetos argáricos do Museu d’Ourense. Algunhas consideraciós encol da primeira idade dos metás na Galiza”. *Boletín de la Real Academia Gallega* 173: 96-107.

LÓPEZ CUEVILLAS, F. 1951: *Las joyas castreñas.* Instituto de Arqueología y Prehistoria Rodrigo Caro. Madrid.

LÓPEZ-ROMERO, E. y MONTERO, I. 2006: “Archaeometry and the international evolution of studies on metallurgy: a bibliometrical perspective”. *34th International Symposium on Archaeometry, 3-7 May 2004,* Zaragoza, Spain. Institución Fernando El Católico. Zaragoza: 195-200. http://www.dpz.es/ifc2/libros/ebook2621.pdf

LUZÓN NOGUÉ, J.M. 1983: “Algunos aspectos de la minería antigua en Galicia”. En G. Pereira (ed.): *Estudos de cultura castrexa e de historia antiga de Galicia. Universidade de Santiago-IEGPS.* Santiago: 213-224.

LUZÓN NOGUÉ, J.M. y SÁNCHEZ-PALENCIA, F.-J. [et al.] 1980: *El Caurel. Excavaciones Arqueológicas en España* 110. Madrid.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; GARCÍA-RODEJA, E.; PONTEVEDRA, X.; NOVOA, J.C.; WEISS, D. y CHEBURKIN, A. 2002: “Atmospheric Pb deposition in Spain during the last 4600 years recorded by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as archive”. *The Science of the Total Environment* 292: 33-44.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; NOVOA, J.C.; PONTEVEDRA, X.; GARCÍA-RODEJA, E. y LLANA, C. 1997: “Paleocontaminación. Evidencias de contaminación atmosférica antrópica en Galicia durante los últimos 4000 años”. *Gallaecia* 16: 7-22.

MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. 1989: *Una revisión crítica de la prehistoria española: la Edad del Bronce como paradigma.* Siglo XXI. Madrid.

MEIJIDE, G. y ACUÑA, F. 1985: “Nuevas armas del Bronce Final halladas en Galicia”. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología* 51: 174-187.

MONTEAGUDO, L. 1952: “Torques castreños de alambres enrollados”. *Archivo Español de Arqueología* 25: 287-296.

MONTEAGUDO, L. 1953: “Orfebrería del NW hispánico en la Edad del Bronce”. *Archivo Español de Arqueología* 26: 269-312.

MONTEAGUDO, L. 1954: “Metalurgia hispana de la Edad del Bronce, con especial estudio de Galicia y Norte de Portugal”. *Caesaraugusta* 4: 55-95.

MONTEAGUDO, L. 1973: “Hachas de tope de Mougás (Pontevedra)”. *Cuadernos de Estudios Gallegos* XXVIII (fasc. 84): 128-142.

MONTEAGUDO, L. 1977: *Die Beile auf der Iberischen Halbinsel.* PBF IX/6. München.

MONTERO, I. 1994: *El origen de la metalurgia en el Sureste Peninsular.* Instituto de Estudios Almerienses. Almería.

MONTERO, I. 2000: *Arqueometalurgia en el Mediterráneo.* Ediciones Clásicas. Madrid.

MONTERO, I. 2002: “Metal y circulación de bienes en la prehistoria reciente”. *Cypsela* 14: 55-68.

MONTERO, I.; GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. 2007: “Arqueometría: cambios y tendencias actuales”. *Trabajos de Prehistoria* 64.1: 23-40.

MONTERO, I. y ROVIRA, S. 1991: “El oro y sus aleaciones en la orfebrería prerromana”. *Archivo Español de Arqueología* 64: 7-21.

MONTERO, I.; ROVIRA, S.; DELIBES, G.; FERNÁNDEZ MANZANO, J.; FERNÁNDEZ-POSSE, M.D.; HERRÁN, J.I.; MARTÍN, C. y MAICAS, R. 2003: “High leaded bronze in the Late Bronze Age metallurgy of the Iberian Peninsula”. *Proceedings of the International Conference Archaeometallurgy in Europe. 24, 25, 26 Septembre 2003.* Milan, Italy (vol. 2). Associazione Italiana di Metallurgia. Milán: 39-46.

MURGUÍA, M. 1888: *Galicia. España. Sus monumentos y artes–su naturaleza e historia. Establecimiento Tipográfico-Editorial de Daniel Cortezo y Cía.* Barcelona [reedición como vol. I de M. Murguía: Historia de Galicia. Editorial La Gran Enciclopedia Vasca. Bilbao 1979].

MURGUÍA, M. 1901: *Historia de Galicia. 2ª edición.* Tomo primero. Librería de Don Eugenio Carré. A Coruña.

PEÑA SANTOS, A. de la 1992a: “El primer milenio a.C. en el área gallega: génesis y desarrollo del mundo castreño a la luz de la arqueología”. En M. Almagro-Gorbea y G. Ruiz Zapatero (eds.): *Paleoetnología de la Península Ibérica. Complutum* 2-3: 373-394.

PEÑA SANTOS, A. de la 1992b: *Castro de Torroso (Mos, Pontevedra). Síntesis de las memorias de las campañas de excavaciones 1984-1990.* Arqueoloxía/Memorias 11. Xunta de Galicia. Santiago.

PEREA, A. 1991: *Orfebrería prerromana. Arqueología del oro.* Caja de Madrid-Comunidad de Madrid. Madrid.

PEREA, A. 1995: “La metalurgia del oro en la fachada atlántica peninsular durante el Bronce Final: interacciones tecnológicas”. En Ruiz-Gálvez 1995: 69-78.

PEREA, A. 1999: “L’Archéologie de l’or en Espagne: tendances et perspectives”. En B. Cauet (dir.): *L’or dans l’Antiquité. De la mine á l’objet.* Aquitania, Supplément 9. Toulouse: 307-314.

PEREA, A. 2000: “Tecnología, Política y Sociedad. El Proyecto AU”. *Saguntum* 32: 123-130.

PEREA, A. 2003: “Los torques castreños en perspectiva”. *Brigantium* 14: 139-149.

PEREA, A. 2005: “Mecanismos identitarios y de construcción de poder en la transición Bronce-Hierro”. *Trabajos de Prehistoria* 62.2: 91-103.

PEREA, A.; ARMBRUSTER, B.; MONTERO, I. y ROVIRA, S. 2008: “Arqueometalurgia: historia y tecnología”. En Sáiz-Jiménez y Rogerio-Candelera 2008: 129-142.

PEREA, A.; MONTERO, I. y GARCÍA VUELTA, O. 2004: "Project Au and the Au Repertoire. A Research strategy in Gold Metallurgy". En A. Perea, I. Montero y O. García Vuelta (eds.): *Tecnología del Oro Antiguo. Europa y América. Ancient Gold Technology. America and Europe.* Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXII. Madrid: 139-146.

PÉREZ OUTEIRIÑO, B. 1982: *De ourivesaria castrexa,* I. Arracadas. Boletín Auriense anexo 1. Museo Arqueolóxico Provincial. Ourense.

PÉREZ OUTEIRIÑO, B. 1989: "Orfebrería castreña". *El oro en la España prerromana. Monográfico de Revista de Arqueología.* Madrid: 90-107.

PÉREZ OUTEIRIÑO, B. 1990-91: "Notas sobre a composición dos primeiros ouros do Noroeste peninsular". *Boletín Auriense* 20-21: 119-133.

PÉREZ OUTEIRIÑO, B. 1992: "Almacenamento da materia prima entre os ourives castrexos: lingotes planoconvexos". En F. Acuña (coord.): *Finis Terrae. Estudios en lembranza do Prof. Dr. Alberto Balil.* Servicio de Publicacións da Universidade de Santiago. Santiago: 97-130.

PÉREZ OUTEIRIÑO, B. 1999: "Estado da cuestión acerca do nacemento da ourivería no NW. peninsular e as primeiras etapas do seu desenvolvemento". *Actas do I Colóquio Português de Ourivesaria.* Círculo Dr. José de Figueiredo. Porto: 123-163.

PERNICKA, E. 1998: "Whither metal analysis in archaeology?". En C. Mordant, M. Pernot y V. Rychner (eds.): *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siècle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96* (vol. I). CTHS. Paris: 259-267.

PINGEL, V. 1992: *Die Vorgeschichtlichen Goldfunde der Iberischen Halbinsel. Eine Archäologische Untersuchung zur Auswertung der Spektralanalysen.* Madrider Forschungen 17. Berlin.

PINGEL, V. 1993: "Technical aspects of Prehistoric gold objects on the basis of material analyses". En G. Morteany y P. Northover (eds.): *Prehistoric Gold in Europe. Mines, metallurgy and Manufacture.* NATO ASI Series. Applied Sciences 280. Boston: 385-398.

RAFTERY, J. 1971: "Irish prehistoric gold objects: new light on the source of the metal". *Journal of the Royal Society of Antiquaries of Ireland* 101: 101-105.

ROVIRA, S. 1995: "Estudio arqueometalúrgico del depósito de la ría de Huelva". En Ruiz-Gálvez 1995: 33-57.

ROVIRA, S. 2004: "Tecnología metalúrgica y cambio cultural en la Prehistoria de la Península Ibérica". *Norba. Revista de Historia* 17: 9-40.

ROVIRA, S. y GÓMEZ RAMOS, P. 2003: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica: III. Estudios metalográficos.* Madrid.

ROVIRA, S.; MONTERO, I. y CONSUEGRA, S. 1997: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica: I. Análisis de materiales.* Instituto Universitario Ortega y Gasset. Madrid.

RUIZ-GÁLVEZ, M. (ed.) 1995: *Ritos de paso y puntos de paso. La ría de Huelva en el mundo del Bronce Final europeo.* Complutum Extra 5. Madrid.

SÁIZ-JIMÉNEZ, C. y ROGERIO-CANDELERA, M.A. (eds.) 2008: *La investigación sobre Patrimonio Cultural.* Red temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural. Sevilla.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. 1996: “Arqueominería del oro: el Noroeste peninsular”. En B. Calvo, M.J. Bernárdez y J.C. Guisado di Monti (coords.): *Arqueología e Historia de la Minería y Metalurgia.* Escuela Superior de Ingenieros de Minas. Madrid: 87-106.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. (ed.) 2000: *Las Médulas (León). Un paisaje cultural en la Asturia Augustana.* Instituto Leonés de Cultura-Diputación Provincial de León. León.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. y FERNÁNDEZ-POSSE, M.D. 1998: “El beneficio del oro por las comunidades prerromanas del noroeste peninsular”. En G. Delibes (ed.): *Minerales y metales en la Prehistoria Reciente. Algunos testimonios de su explotación y laboreo en la Península Ibérica.* Studia Archaeologica 88. Valladolid: 227-246.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J.; OREJAS, A.; SASTRE, I. y RUIZ DEL ÁRBOL, M. 2008: “Los paisajes preindustriales. Patrimonio y recursos sociales”. En Sáiz-Jiménez y Rogerio-Candelera 2008: 143-158.

SARABIA HERRERO, F. J. 1998: “La aplicación de análisis químicos al estudio de la metalurgia en arqueología: una revisión histórica”. En J. Fernández Manzano y F.J. Sarabia (coords.): *Arqueometalurgia del bronce. Introducción a la metodología de trabajo.* Studia Archaeologica 86. Universidad de Valladolid. Valladolid: 15-29.

SARALEGUI, L. de 1894: *Estudios sobre la época céltica en Galicia (3ª ed.).* Imprenta y Librería de R. Pita. Ferrol.

SIERRA RODRÍGUEZ, J.C. 1978: *Sobre la tecnología del Bronce Final en los talleres del Noroeste hispánico.* Studia Archaeologica 47. Universidad de Valladolid. Valladolid.

SIERRA RODRÍGUEZ, J.C. 1979: “Novo machado plano atopado na provincia de Ourense. Novos datos pra o estudo do Bronce Inicial e Medio no Noroeste hispánico”. *XV Congreso Nacional de Arqueología.* Zaragoza: 211-236.

SIERRA RODRÍGUEZ, J.C.; VÁZQUEZ VAAMONDE, A.J.; LUIS, L. de y FERREIRA, S. 1984: *El depósito del Bronce Final de Samieira. Investigación arqueoanalítica y experimental.* Boletín Auriense Anexo 2. Museo Arqueolóxico Provincial. Ourense.

SIRET, L. 1913: *Questions de chronologie et d’ethnographie ibèriques.* Paris.

SLATER, E.A. y CHARLES, J.A. 1970: “Archaeological Classification by Metal Analysis”. *Antiquity* 44: 207-213.

SOARES, A.M.M.; ARAÚJO, M.F. y ALVES, L.C. 2004: “Análise química não destrutiva de artefactos em ouro pré e proto-históricos: alguns exemplos”. *Revista Portuguesa de Arqueologia* 7.2: 125-138.

SUÁREZ OTERO, J. 2000: “Las hachas de talón sin anillas. Sobre la introducción del Bronce Atlántico en el NO hispánico”. *Boletín Auriense* 30: 9-46.

SUÁREZ OTERO, J. y CARBALLO ARCEO, X. 2001: “Brandariz (Vila de Cruces, Pontevedra). Unha nova punta de lanza para o Bronce Final do Noroeste hispánico”. *Boletín Auriense* 31: 9-34.

TYLECOTE, R.F. 1970: “The Composition of Metal Artifacts: a Guide to Provenance?”. *Antiquity* 44: 19-25.

VIGO GARCÍA, A. 2007: *O Castro de Zoñán (Mondoñedo, Lugo). Escavacións 2002-2004.* Concello de Mondoñedo. Mondoñedo.

WARNER, R. 2004: “Irish gold artefacts: observations from Hartmann’s analytical data”. En H. Roche, E. Grogan, R. Bradley, J. Coles y B. Raftery (eds.): *From Megaliths to Metal.* Essays in Honour of George Eogan. Oxbow Books. Oxford: 72-82.

LA FUNCIONALIDAD SOBRE MATERIAL METÁLICO. BASES Y APLICACIONES DE ESTUDIO

FUNCTIONAL ANALYSIS ON METAL ARTIFACTS. RESEARCH BASIS AND APPLICATIONS

CARMEN GUTIÉRREZ SÁEZ[1], IGNACIO SORIANO LLOPIS[2]

(1) Departamento de Prehistoria y Arqueología, FFLL, Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Cantoblanco (Madrid). carmen.gutierrez@uam.es
(2) Departamento de Prehistoria, Universidad Autónoma de Barcelona, Edificio B, Campus UAB. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Grup de Recerca Arqueològica del Nordest Peninsular - GRANEP. nachsoriano@hotmail.com

RESUMEN

La Traceología ha sido tradicionalmente aplicada sobre artefactos líticos tallados u óseos. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado la posibilidad de su empleo sobre materiales de base metálica, obteniendo resultados diversos. Los autores presentan su propuesta de experimentación y variables a considerar así como los resultados obtenidos hasta el momento.

ABSTRACT

Use-wear analysis has been traditionally applied almost exclusively to flint and bone tools. However during the last years had been confirmed the possibilities to apply this methodology on metallic artefacts. Different results have been obtained. In this paper the authors display their experimentation program and variables to consider as well the results obtained at the moment.

Palabras clave: Traceología, Funcionalidad, Experimentación, Arqueometalurgia, Cobre, Bronce.

Key words: *Use-wear Analysis, Functionality, Experimentation, Archaeometallurgy, Copper, Bronze alloy.*

TRACEOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD

Nuestro objetivo principal es establecer de forma tan precisa como sea posible la funcionalidad de los instrumentos metálicos. Entendemos por funcionalidad la comprensión del uso de los instrumentos dentro de un contexto histórico determinado. Esta función va más allá de la utilización específica de un útil y se inserta en un proceso socio-económico más amplio y complejo.

Tradicionalmente la funcionalidad del instrumental metálico se ha establecido a partir de criterios tipológicos sin contrastación empírica. A partir de la forma de un determinado instrumento y asumiendo que forma equivale a función, ésta se ha trasladado desde el presente a objetos del pasado. Ello puede parecer lógico dado que muchos de los instrumentos metálicos se han seguido fabricando manteniendo tipologías muy similares a las prehistóricas. Sin embargo no es objetivo de la Tipología asumir la función de los instrumentos sino plantear propuestas funcionales que deberán de ser contrastadas con la Traceología.

La Traceología puede ser definida como el estudio metódico de las huellas de uso y se apoya principalmente en la experimentación sistemática. Del conocimiento obtenido en la base experimental surge, por comparación, la aplicación a las piezas arqueológicas, entendiendo que el objeto principal es el estudio del instrumento así como de su impacto en la materia transformada. Ello responde al hecho de que durante el proceso de uso la modificación y, por tanto, la aparición de huellas se da tanto en el instrumento como en la materia trabajada: ambos son transformados aunque en diferente grado. No obstante, este campo de aplicación está limitado por la propia precariedad del registro arqueológico. Por este motivo, el estudio de las huellas sobre los instrumentos metálicos es el que más atención ha recibido (Appleby, 2003; Bridgford, 2000; Gordon, 1985, Gutiérrez, 2002, e.p.; Gutiérrez *et al.,* 2005, e.p.; Kienlin y Ottaway, 1998; O'Flaherty, 2007; Ottaway y Roberts, 2003; Kristiansen, 1977, 1978, 2002; Lull *et al.,* 1999; Soriano y Gutiérrez, 2007; Vivet, 1997; York, 2002). Más limitado es el estudio de las materias trabajadas, como por ejemplo las óseas y la madera conservada (Greenfield, 1999, 2002; Liesau, 1998; Olsen, 1988; Sands, 1997; Semenov, 1956; 1964: 289-301).

Podemos agrupar los objetivos de la Traceología en dos grandes apartados fuertemente interrelacionados:

- El estudio del comportamiento de las variables que intervienen en la función, tanto las independientes (materia prima, materia trabajada, acción ejercida y tiempo) como las dependientes (las propias huellas de uso).
- La discriminación entre los tres grandes conjuntos de huellas que podemos encontrar en un instrumento: de uso, tecnológicas y postdepositacionales.

Todo lo expuesto es común a cualquier estudio traceológico independientemente de la materia prima del instrumento (industria lítica tallada, pulida, industria ósea, metálica…). Sin embargo, la Traceología del material metálico presenta una serie de peculiaridades que hacen su procedimiento más laborioso. Entre ellas la propia complejidad del proceso técnico y el hecho de que los objetos metálicos deban de ser forjados y pulidos de cara a su utilización; ello genera un campo previo de huellas tecnológicas a las que se superpondrán las de uso haciendo difícil, a menudo, la distinción.

La Traceología analiza las huellas presentes en los instrumentos e interpreta su uso, lo que nos otorga la posibilidad, a partir de estos datos, de adentrarnos en aspectos tecnológicos, económicos o sociales de mayor calado. El conocimiento de la funcionalidad permite, por ejemplo, valorar determinados contextos arqueológicos de difícil interpretación, tanto por su carácter aislado como por existir una depositación expresa por parte de las comunidades. Los denominados "depósitos rituales" localizados en contextos acuáticos o el ajuar funerario de ciertas necrópolis podrían valorarse de diferente manera si se conociera

con exactitud su uso en el pasado. A la vez, sería posible llevar a cabo un acercamiento más certero al valor social de dichos instrumentos en cada comunidad, pudiendo evaluar no solo la inversión de trabajo en su realización sino también el uso social de los mismos, en relación a instrumentos realizados sobre otros soportes.

TRACEOLOGÍA METÁLICA: VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

El método experimental que sirve de base a la Traceología, tiene como objetivo la contrastación de hipótesis a través del control de las variables que intervienen en la experimentación. Éstas son las variables independientes como la materia prima y su proceso de manufactura, el tipo de instrumento, la acción ejecutada, la materia trabajada y el tiempo. Además hay otros factores que forman parte del proceso experimental como la fuerza muscular empleada o la lateralidad del sujeto que difícilmente pueden controlarse y cuantificarse.

Por su parte, las variables dependientes son las huellas de uso que vienen determinadas por las configuraciones específicas de las condiciones anteriores.

La construcción del programa experimental debe de hacerse definiendo claramente los elementos integrantes de cada variable independiente y estructurándolos de forma ordenada de manera que cada huella sea el resultado de una conjunción específica de variables. Para que un programa experimental tenga alcance científico debe poder ser replicado cuantas veces sea necesario, así como poseer carácter predictivo.

Variables independientes

La materia prima. A diferencia de otros materiales, esta variable tiene en la Traceología metálica una importancia crucial debido a las diferencias que conlleva en cuanto a las propiedades mecánicas del instrumento, como son elasticidad, tenacidad (campo plástico) y dureza-fragilidad. Hasta ahora el grueso principal de la investigación ha trabajado sobre base cobre. En nuestros trabajos hemos empleado cobre puro y aleaciones de bronce con porcentajes de estaño del 5 y del 15-17%. Sin embargo, todavía falta por experimentar con otras materias como cobres arsenicados o bronces ternarios.

Esta es una de las variables, junto con los tratamientos post-fundición, en la que hemos centrado la mayor parte de la experimentación realizada hasta ahora. El conocimiento del comportamiento de la materia prima en relación a las huellas obtenidas es fundamental puesto que se trata de una de las variables inherentes al propio instrumento y nos permite ver su interrelación con aquellas otras como la materia trabajada o la actividad, que deberán de ser interpretadas a partir de las huellas sobre el instrumento arqueológico. Una ayuda inestimable en la valoración de esta variable son los análisis de composición de las materias de cara a precisar las aleaciones así como las pérdidas de determinados elementos como el estaño.

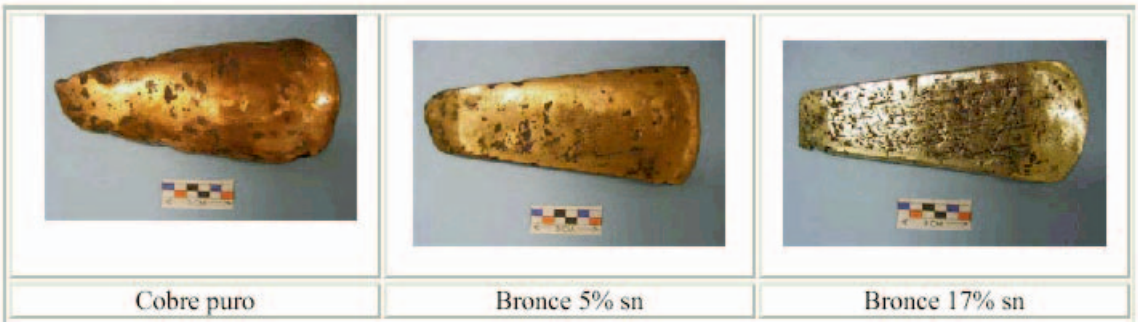


Figura 1. Materias primas e instrumentos. Hachas planas.

La manufactura del instrumento y los tratamientos post-fundición. Como en el caso anterior, esta variable influye en las propiedades mecánicas del instrumento y debe ser tratada inicialmente para controlar sus efectos. Hemos llevado a cabo diferentes combinaciones de tratamientos de forja en frío, en caliente y recocido. Mientras que la forja en frío aumenta la dureza y, por tanto, vuelve más frágil el material (acritud), el recocido disminuye su dureza y ablanda el material, volviéndolo más plástico (reduce acritud). La forja en caliente constituye una combinación de los dos procesos anteriores: al martillear a alta temperatura, el material se deforma sin riesgo de llegar a romperse debido a que el calor rebaja la acritud. Ésta es una buena solución para el conformado de objetos. La combinación controlada de estos tres procesos tecnológicos permite optimizar las propiedades necesarias para el uso de los objetos: útil, ornamento, arma… Es decir, el conocimiento de los procesos tecnológicos y cómo afectan éstos a las propiedades del metal, lleva a un diseño de fabricación del objeto según su utilidad.

Los distintos tratamientos aplicados responden a los procesos conocidos en el material arqueológico de la Península Ibérica y puestos en evidencia por los análisis metalográficos (Rovira y Gómez, 2003; Rovira y Delibes, 2005). Otros tratamientos como el desbastado y el afilado tienen una influencia menor en las propiedades del instrumento, y finalmente procesos como la decoración no influyen en absoluto. Otros análisis complementarios para el estudio tecnológico son las metalografías, las radiografías y los test físicos de microdureza.

Figura 2. Tratamientos tecnológicos.

El instrumento. Además de las variables anteriores que lo configuran, la morfología del instrumento condiciona de forma importante la capacidad funcional. En el caso de los artefactos metálicos prehistóricos de base cobre, la variabilidad de las morfologías documentadas es bastante reducida, apenas unos pocos tipos. Esto apunta hacia la posibilidad de que estos instrumentos hayan sido empleados en diversas funciones. Para contrastar esta hipótesis es necesario documentar experimentalmente un amplio abanico de usos para ver si el material arqueológico responde o no a esta diversidad. Esto permitiría precisar la relación entre las tipologías morfológicas y la funcionalidad de esos objetos. Por ejemplo el conocido morfotipo de hacha plana pudiera responder a funcionalidades distintas, bien como instrumento (hacha, azuela, azada) bien como arma (hacha de combate). Igualmente otros usos diversificados como el del cincel y el de escoplo subyacen en el mismo morfotipo.

Entre los instrumentos sobre los que se ha aplicado el análisis de huellas están:

- experimental: alabardas, hachas de rebordes, hachas de cubo, puntas de lanza, espadas, sierras, punzones, cuchillos-puñales.
- colecciones arqueológicas: hachas de rebordes, hachas de cubo, hachas planas, brazaletes, fíbulas, asadores, punzones.

Nuestra experimentación ha incluido las siguientes piezas: cuchillos-puñales de remaches, sierras, punzones y hachas planas, todas ellas presentes en los conjuntos de Calcolítico o Bronce peninsulares.

Otros posibles artefactos sobre los que se podría experimentar son puntas de flecha, puntas de Palmela, cinceles, escoplos y hoces.

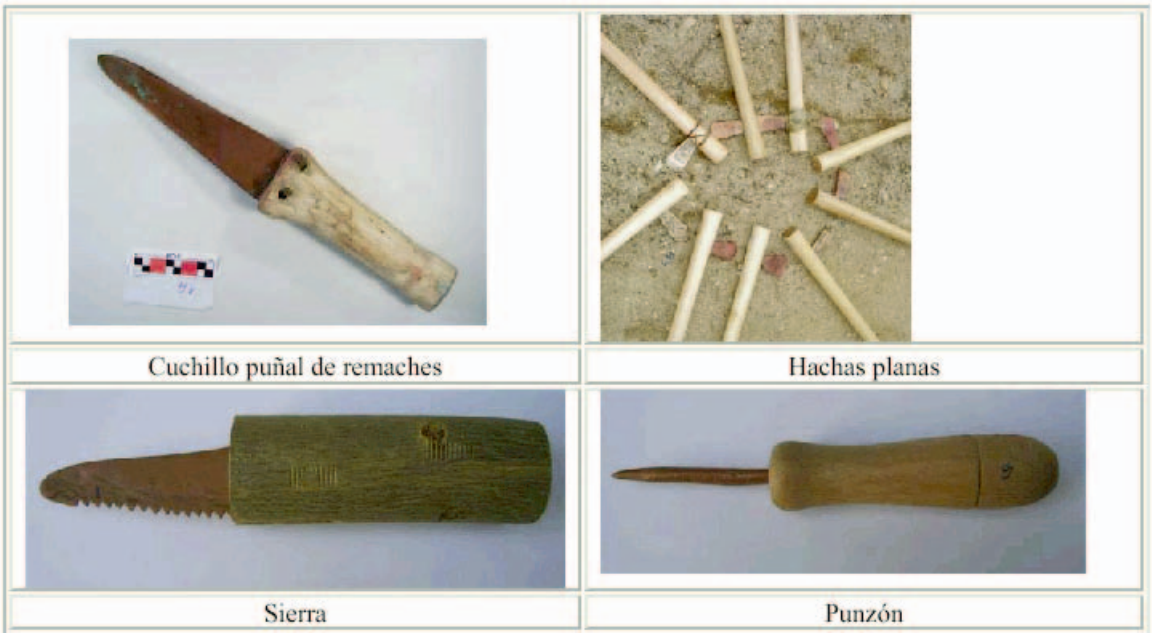


Figura 3. Instrumentos.

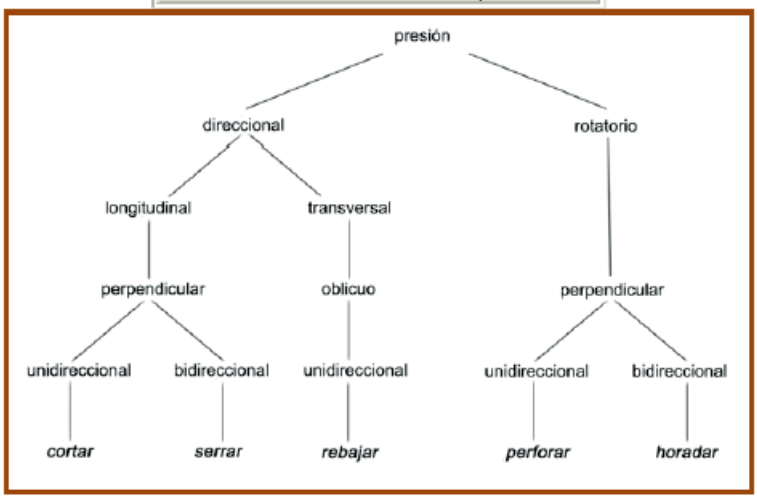
Dentro de este apartado hay subvariables que tienen mayor incidencia que otras en la funcionalidad. Entre las primeras son fundamentales la morfología general del útil, peso, delineación y ángulo del borde activo y, quizá, su tamaño. Menos importancia poseen aspectos como el tipo de enmangue, siempre que éste se encuentre bien ajustado y permita una buena prensión.

Se ha demostrado experimentalmente que siempre que las subvariables fundamentales se mantengan, el cambio del tipo de enmangue no afectará a las huellas (Kienlin y Ottaway, 1998: 272-274); esto implica que los resultados de la experimentación con un tipo de hacha, por ejemplo, pueden extrapolarse a hachas de diferente tipología.

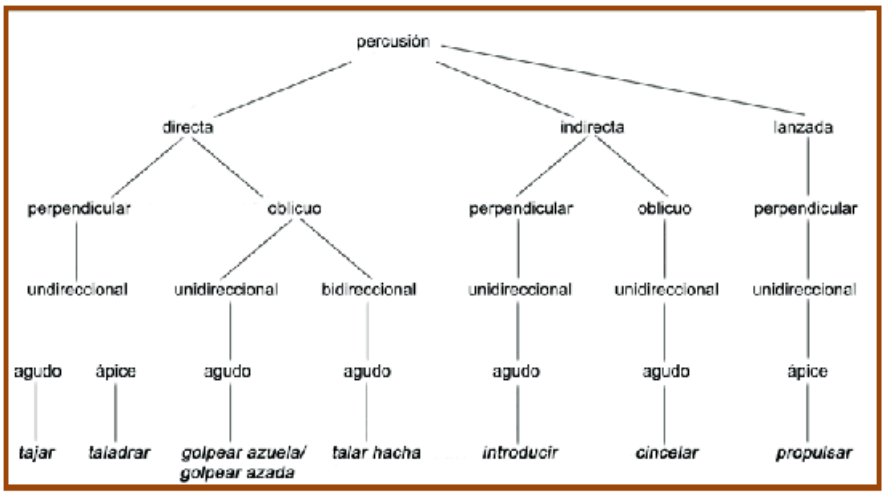
Las variables independientes que exponemos a continuación pueden ser analizadas durante la experimentación, si bien su detección en los objetos arqueológicos es más problemática y deberá hacerse a partir de la interpretación de un entramado de evidencias. Por otra parte, no sólo intervienen en el hecho específico del uso sino que además participan de otras causas posibles de huellas como los procesos tecnológicos y los postdepositacionales.

La acción. Entendemos por acción un conjunto específico de gestos con los que un instrumento actúa sobre una materia con objeto de transformarla. Estos gestos concretan en sí mismos unas determinadas subvariables, es decir, la conjunción de un grupo de subvariables da como resultado una única acción.

Huellas de uso. Acciones de presión



Huellas de uso. Acciones de percusión



Huellas tecnológicas

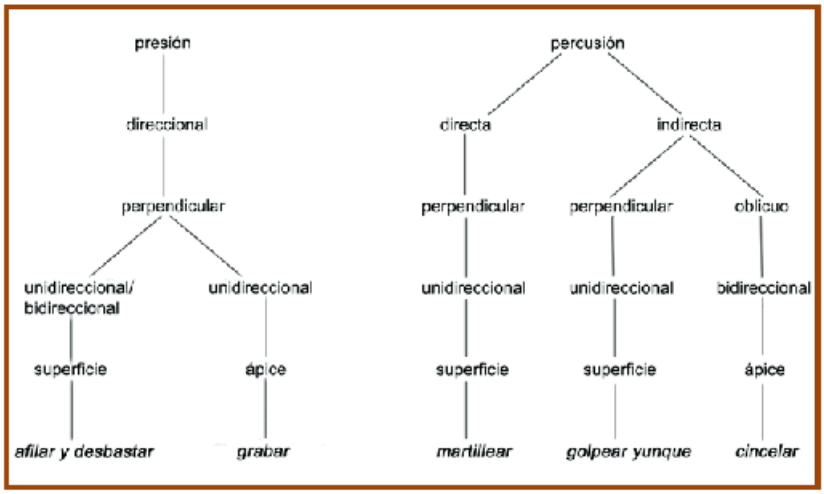


Figura 4.

Estas subvariables, inherentes a todo movimiento son:

- La forma en que se aplica la fuerza: percusión directa, indirecta, lanzada y presión. Cada una de las modalidades ofrece relaciones distintas de contacto y fuerza bruta mantenidas entre el instrumento y la materia trabajada, lo que determina el tipo de huellas a desarrollar.
- Desplazamiento en el espacio: direccional y rotatorio. Esta subvariable es aplicable solo a acciones de presión. Las acciones direccionales realizan un recorrido sobre un espacio bidimensional mientras que las rotatorias giran sobre su propio eje.
- Direccionalidad: para aquellas acciones direccionales el borde activo puede desplazarse de forma longitudinal (en paralelo a su propio eje) o transversal (de forma perpendicular al mismo).
- Ángulo de trabajo: el que mantiene el borde activo respecto a la materia trabajada: perpendicular (ambas caras del borde mantienen la misma distancia respecto a la materia) y oblicuo (una cara tiene mayor contacto con la materia que la otra).
- Sentido del trabajo: unidireccional cuando el borde hace un único recorrido, bidireccional si la trayectoria es de ida y vuelta.

Los términos empleados para denominar a la acción son genéricos, pudiendo la misma acción en contextos diferentes cambiar de nombre. Por ejemplo la acción percusión directa, de ángulo perpendicular y unidireccional aplicada sobre madera sería *golpear con azuela* mientras que utilizada sobre tierra sería *cavar con azada.* El aspecto central no lo constituye la nomenclatura empleada sino la determinación precisa de la combinación de subvariables que la conforman.

Otra cuestión importante dentro de la funcionalidad es diferenciar acción de actividad. La actividad engloba un conjunto de acciones con un fin más amplio. Por ejemplo, talar un árbol, descortezar y ahuecar su interior con azuela son acciones integradas en una actividad más amplia como puede ser la fabricación de una canoa. Las acciones que hemos ejecutado en nuestro programa son cortar, talar, serrar, grabar y perforar.

Igual que en la variable siguiente, sobre los instrumentos aparecen acciones que provienen del uso, pero también otras procedentes de la tecnología y las alteraciones.

Entre las tecnológicas las acciones más comunes son golpear (forja) y afilar. Estas acciones están, igualmente constituidas por subvariables. La diferencia fundamental entre ellas y las dedicadas a la funcionalidad derivan del tipo de zona activa: bordes lineales o ápices en la función y zonas masivas (martillo, yunque, afilador) o ápices (punzón) en la tecnología.

Otro problema presentan las acciones derivadas de hechos postdepositacionales. En este apartado se incluyen distintos hechos como los acaecidos durante la sedimentación, la excavación o los tratamientos de restauración. Los primeros (arrastre por barro o agua, choque con material duro…) son en extremo diversos y por ello difícilmente controlables de cara a su definición. Los derivados de una intervención humana (excavación, restauración) presentan una variedad menor, conociéndose algunos mejor que otros. Así, la intervención de un torno eléctrico o una fibra de vidrio sobre una superficie metálica pueden ser explicadas de forma idéntica a la de la funcionalidad. Este conjunto de causas generan a menudo un campo importante de huellas que intervienen sobre las tecnológicas y las de uso. Es preciso, por ello, llevar a cabo experimentos controlados para que su mejor conocimiento nos permita aislarlas y diferenciarlas de las anteriores.

Materias trabajadas. Las materias sobre las que puede incidir un instrumento metálico son diversas y atañen a un amplio número de objetivos. Estas materias se pueden clasificar de diferentes maneras según su reino y composición, su dureza, grado de rigidez-flexibilidad, grado de humedad, etc. bien optando

por uno de estos criterios bien mezclando varios de ellos. En la actualidad no hay un consenso respecto a los criterios de clasificación, lo que hace difícil plantear una experimentación que incluya todas las posibilidades de forma sistemática. Es usual en la Traceología lítica, emplear aquellas materias supuestamente al alcance del hombre prehistórico: carne, piel, huesos o astas derivadas de la carnicería animal, madera, vegetales blandos… Sin embargo, la amplitud de los recursos potencialmente explotados en el pasado es demasiado grande como para poder incluirlos todos en un programa de experimentación. Por esta razón es necesario establecer una clasificación de las materias trabajadas que las unifique bajo ciertos criterios, de índole físico-química, que permita reducir el número de experimentos a realizar sin perder información sustancial. Asimismo, contemplar las materias desde un punto de vista de sus propiedades físicas y químicas permite una investigación más pormenorizada que dé respuesta a la posible formación de determinados tipos de huellas.

Hasta el momento hemos trabajado con carcasa animal (piel, carne, hueso), cerámica, y distintos tipos de madera. También incluimos el metal procedente de martillos, yunques y limas del proceso tecnológico. No hemos iniciado aún una experimentación dedicada a los procesos postdepositacionales, por lo que la incidencia de materias como barro, gravas, arenas, fibra de vidrio, torno mecánico… no ha sido calibrada de forma sistemática.

Como en los casos de la materia prima y las técnicas de manufactura, el desarrollo de las técnicas analíticas puede venir en ayuda de la identificación de materias trabajadas. Los residuos que a menudo quedan adheridos sobre los instrumentos metálicos protegidos por las propias corrosiones, pueden ser analizados e identificados. Estos residuos pueden corresponder a la propia materia trabajada pero, más comúnmente a otros elementos como mangos (Badal *et al.,* 2007) o fundas (Benítez de Lugo *et al.,* 2007).

Figura 5. Acciones y materias trabajadas.

El tiempo. Esta es una de las variables que tiene mayor peso en el desarrollo de las huellas de uso pero, a la vez, más difícil de discriminar puesto que sus efectos se solapan con otras variables como la materia prima y la materia trabajada. Es imposible saber cuanto tiempo fueron utilizados los instrumentos prehistóricos. Debido a ello hemos optado por mantener el mismo segmento de tiempo en todos los experimentos con la finalidad de aislar los efectos de esta variable. En los casos en los que se ha incrementado el tiempo ello ha permitido ver si los cambios en las huellas han sido de tipo cualitativo o cuantitativo.

Un último problema, relacionado con la variable tiempo y común en la Traceología, es la calibración total del uso del útil. Nos referimos a aquellas ocasiones en que un instrumento haya podido ser utilizado indiscriminadamente en distintas acciones sobre diversas materias dejando un conjunto de huellas que se solapan y hacen imposible la determinación real del uso. Otra circunstancia común es la valoración de

piezas cuyos filos han sido reparados y vueltos a poner en activo después de un uso intenso. En este caso los trabajos de reafilado y forja eliminan las huellas anteriores y nos pueden dar una falsa idea de instrumento no usado.

Variables dependientes

Se ha definido anteriormente (Gutiérrez 2002) un conjunto de huellas de uso que pueden encontrarse sobre material arqueológico. En este trabajo vamos a tratar únicamente de aquellas que hemos detectado en nuestros propios experimentos.

Asimismo avanzamos algunos de los resultados alcanzados en estos trabajos teniendo en cuenta que para su correcta valoración es preciso ampliar la experimentación incluyendo variables hasta ahora no tratadas.

Deformaciones mecánicas

Depresiones de carácter masivo. Como su nombre indica son zonas deprimidas sobre la superficie metálica, improntas debidas a la presión con distintos instrumentos u objetos. Cuando sus morfologías son regulares y a menudo se repiten pueden deberse a la manufactura del instrumento con el uso de martillos y yunques. En otros casos son de formas más irregulares depresiones aisladas e irregulares, a modo de abolladuras ocasionadas por causas accidentales potdepositacionales o incluso durante su vida activa. Los atributos a tener en cuenta son la morfología, longitud, anchura, profundidad y su localización aislada o en grupo.

Depresiones de carácter lineal. Son surcos sobre la superficie metálica que se pueden detectar a simple vista como las incisiones o necesitar de microscopía como estrías y fisuras. Como las huellas anteriores pueden presentarse de forma aislada o agrupadas. Atributos: longitud, anchura, profundidad, regularidad de los márgenes, fondo en U o V, dirección, tipología, asociación entre sí y a otras huellas.

Estrías: Son surcos finos y superficiales, presentan un trazado regular estrecho y fondo en U. Sus causas son diversas. Tecnológicas: generadas por el limado y regularización de la pieza. Funcionales: por el uso o un enmangue mal encajado. Postdepositacionales: debidas a tratamientos de limpieza agresivos como tornos y fibra de vidrio. El hecho de que sean tan numerosas y se yuxtapongan hace difícil la determinación de su causa. A diferencia de la industria lítica, las estrías sobre metal son más numerosas, tanto bajo la lupa binocular como bajo el microscopio metalográfico; especialmente con este medio se pueden detectar en gran abundancia.

Dada la gran cantidad de estrías y la escasa experimentación aún no podemos proponer una clasificación definitiva. Algunos de los tipos observados bajo lupa binocular son:

- Estrías estrechas y superficiales con longitud corta-media. Pueden aparecer aisladas pero son más comunes agrupadas formando bandas. Se deben al limado con instrumento de grano fino o al empleo de fibra de vidrio durante la limpieza y restauración de la pieza. Pueden deberse también al uso, en cuyo caso tienden a aparecer aisladas.
- Estrías estrechas y profundas de longitud variable. Además del uso, pueden deberse a causas tecnológicas como el limado o accidentales. En estos últimos casos los distintos grupos de estrías se distribuyen con direcciones diversas.
- Estrías anchas y profundas, longitud variable. Producidas por una lima de grano grueso, por el empleo de bisturí en la limpieza de la pieza, o bien debido a causas accidentales durante el uso o la sedimentación. En algún caso pueden deberse al uso por choque con una materia dura.

Fisuras: son surcos irregulares que varían en profundidad y anchura, con trazado poco neto y su fondo en V; las fisuras pueden llegar a romper la materia. Se producen en la fase tecnológica y son una deformación plástica como respuesta a la resistencia sostenida al doblar la pieza por corrosión bajo tensión.

Redondeamiento de zonas salientes

Embotamiento: Es un redondeamiento del filo de las piezas y también de otras zonas altas como las propias aristas de los trazos decorativos. Sobre los bordes solo se aprecia cuando tiene un fuerte desarrollo porque los filos prehistóricos no son excesivamente agudos. Se genera durante el uso o enmangue pero es común en la fase de acabado de la pieza por limado, y, quizá, en alteraciones postdepositacionales. En el embotamiento se considera el grado, alto o bajo y su posición en la pieza.

Deformación del filo

Rebordes: son pequeños desplazamientos de metal sobre los filos por efecto del esfuerzo. Pueden aparecer plegados sobre las caras del borde o levantados sobre el filo. Se considera su longitud y anchura.

Muescas: deformación del filo sin pérdida de materia debido a la presión sobre la materia trabajada u otros objetos duros. Se constatan también sobre filos más espesos por choque continuado con el mango. Son relativamente abundantes en las piezas experimentales. Los atributos son morfología, longitud, anchura y profundidad, asociación a reborde y posición sobre el filo o la cara.

Roturas: suponen la pérdida de materia en el filo activo y son asimilables a los desconchados sobre industria lítica, si bien de morfología diferente. La principal diferencia entre las roturas metálicas y los desconchados líticos radica en el carácter plástico del metal frente al isotrópico del sílex que facilita la fractura concoidea. Este hecho se traduce que los negativos de roturas del sílex permiten identificar con nitidez la forma y tamaño de las esquirlas saltantes y, por ello, ser clasificados atendiendo estos atributos. Por el contrario, en el metal la pérdida de material deja huellas irregulares y poco tipificables. Muy a menudo se asocian a corrosiones intensas. Atributos: longitud, anchura, profundidad, morfología, terminación y posición.

Deformaciones físico-químicas y elementos añadidos

Existen otros conjuntos de huellas que se pueden detectar sobre las superficies metálicas. Se trata de las alteraciones físico-químicas de la superficie y residuos.

Alteración físico-química de la superficie. Las alteraciones suponen un fuerte reto en el estudio de las huellas sobre el metal. No existe prácticamente pieza arqueológica que no ofrezca sobre su superficie un nutrido conjunto de alteraciones debido a la rapidez de los procesos de corrosión de los metales, agravados por algunos medios sedimentarios.

Experimentalmente hemos comprobado que la alteración de las superficies metálicas es muy rápida; se inicia con la aparición de tenorita apenas se ha manufacturado la pieza, pero los ataques de cloruros y óxidos son más intensos en aquellas áreas donde queda atrapada parte de la materia trabajada después del uso.

Corrosiones. Los elementos metálicos de base cobre presentan una amplia serie de procesos de corrosión. Éstos ofrecen tonos azules como la azurita (hidroxicarbonato); entre los verdes la malaquita (hidroxicarbonato) y la atacamita (cloruro cúprico hidratado); el rojo anaranjado de la cuprita (óxido cuproso); gris oscuro de la tenorita (óxido cúprico) y blanco ceroso como la nantokita (cloruro cuproso).

Figura 6. Huellas tecnológicas y de uso.

Es preciso señalar dos tipos de huellas características debidas a la alteración de la tenorita:

Bandas de lustre: sobre las piezas experimentales hemos detectado una amplia banda de tonos más claros en la zona en contacto con la materia trabajada. No se trata de un pulimento muy desarrollado sino justamente de la eliminación de la tenorita por la fricción con la materia trabajada. En trabajos sobre materias duras y esfuerzo prolongado, como las sierras es muy evidente. Sin embargo no hemos podido detectar una huella similar en las sierras prehistóricas.

Alteración diferencial. Aparece tanto en piezas arqueológicas como experimentales, sobre todo puñales y se relaciona con la presencia del mango, por la protección que aporta a las zonas metálicas subyacentes, y el contacto con la materia trabajada.

Dentro de las alteraciones físico-químicas, se ha constatado un tipo de huella microscópica bien conocida sobre instrumentos líticos: el pulimento.

Pulimento. La existencia de pulimento sobre instrumentos metálicos se puede confirmar experimentalmente. Sin embargo se desarrolla menos que sobre las superficies líticas y en aquellas zonas donde es más intenso aparece en escasa cantidad. Esto dificulta su identificación atendiendo a sus atributos característicos. La interpretación sobre metal es más comprometida y tendrá que ser apurada en futuros trabajos experimentales.

RESULTADOS OBTENIDOS

Hasta el momento hemos llevado a cabo dos programas experimentales con distintos objetivos. En el primero tratábamos de determinar qué tipos de huellas tecnológicas y de uso podíamos esperar sobre las superficies metálicas en relación a las ya conocidas en industria lítica. Para ello se diseñó un pequeño programa experimental sobre cobre puro que fue trabajado mediante forja en frío, en caliente y recocido; los instrumentos elaborados, cuchillos-puñal, sierras y punzones, trabajaron una hora diversas materias.

Nº	Útil	Metal	Tratamiento post-fundición	Acción	Materia trabajada
1A	Cuchillo-puñal	Cobre puro	FF+A	Cortar	Carcasa animal
2A	Sierra	Cobre puro	FF+A	Serrar	Madera
3A	Sierra	Cobre puro	FF+A	Serrar	Hueso
4A	Punzón	Cobre puro	FF+A	Grabar	Cerámica
5A	Punzón	Cobre puro	FF+A	Grabar	Madera
6A	Punzón	Cobre puro	FF+A	Perforar	Piel
7	Punzón	Cobre puro	FF+A	Perforar	Madera
8	Cuchillo-puñal	Cobre puro	R+FF+A	Cortar	Carcasa animal
9	Sierra	Cobre puro	R+FF+A	Serrar	Madera
10	Sierra	Cobre puro	R+FF+A	Serrar	Hueso
11	Punzón	Cobre puro	R+FF+A	Grabar	Cerámica
12	Punzón	Cobre puro	R+FF+A	Grabar	Madera
13	Punzón	Cobre puro	R+FF+A	Perforar	Piel
14	Punzón	Cobre puro	R+FF+A	Perforar	Madera
15	Cuchillo-puñal	Cobre puro	FC+A	Cortar	Carcasa animal
16	Sierra	Cobre puro	FC+A	Serrar	Madera
17	Sierra	Cobre puro	FC+A	Serrar	Hueso
18	Punzón	Cobre puro	FC+A	Grabar	Cerámica
19	Punzón	Cobre puro	FC+A	Grabar	Madera
20	Punzón	Cobre puro	FC+A	Perforar	Piel
21	Punzón	Cobre puro	FC+A	Perforar	Madera

Tabla 1. Serie experimental de metales, tratamientos y actividades realizadas.
FF = Forja en frío. FC = Forja en caliente. A= Afilado. R = Recocido. FFS = Forja en frío selectiva

Los resultados obtenidos nos han servido, en primer lugar, para demostrar que es posible aplicar la Traceología a los instrumentos metálicos. En segundo lugar para empezar a determinar los tipos de huellas tecnológicas y de uso susceptibles de ser encontradas en las superficies metálicas y que han sido expuestas más arriba (Gutiérrez Sáez *et alii,* 2005)

Una segunda fase experimental ha incluido experimentos de fundición de metales como cobre y dos tipos de bronce que han sufrido diversos tratamientos post-fundición. En este caso los piezas configuradas, hachas planas, han trabajado únicamente madera. Nuestro objetivo era determinar la incidencia que las materias trabajadas (de distinta dureza) y los diversos tratamientos post-fundición pudieran tener en el desarrollo de las huellas de uso. Se han realizado también cuchillos-puñal para ser usados en labores de carnicería pero estos experimentos están aún en ejecución (Soriano Llopis y Gutiérrez Sáez, 2007).

Nº	Útil	Metal	Tratamiento post-fundición	Acción	Tiempo de uso	Materia Trabajada
22 B	Cuchillo-puñal	Cobre	FF+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
23 B	Cuchillo-puñal	Bronce 5% Sn	FF+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
24 B	Cuchillo-puñal	Bronce 15% Sn	FF+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
25 B	Hacha	Cobre	FF+A	Talar	1 hora	Madera
26 B	Hacha	Bronce 5% Sn	FF+A	Talar	1 hora	Madera
27 B	Hacha	Bronce 15% Sn	FF+A	Talar	1 hora	Madera
28 B	Cuchillo-puñal	Cobre	FF+R+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
29 B	Cuchillo-puñal	Bronce 5% Sn	FF+R+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
30 B	Cuchillo-puñal	Bronce 17% Sn	FF+R+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
31 B	Hacha	Cobre	FF+R+A	Talar	2 horas	Madera
32 B	Hacha	Bronce 5% Sn	FF+R+A	Talar	2 horas	Madera
33 B	Hacha	Bronce 17% Sn	FF+R+A	Talar	2 horas	Madera
34 B	Cuchillo-puñal	Cobre	FF+R+FFS+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
35 B	Cuchillo-puñal	Bronce 5% Sn	FF+R+FFS+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
36 B	Cuchillo-puñal	Bronce 15% Sn	FF+R+FFS+A	Cortar	1 hora	Carcasa animal
37 B	Hacha	Cobre	FF+R+FFS+A	Talar	1 hora	Madera
38 B	Hacha	Bronce 5% Sn	FF+R+FFS+A	Talar	1 hora	Madera
39 B	Hacha	Bronce 17% Sn	FF+R+FFS+A	Talar	1 hora	Madera

Tabla 2. Serie de metales experimentales hachas y puñales para trabajar madera y hueso.
FF = Forja en frío. FC = Forja en caliente. A= Afilado. R = Recocido. FFS = Forja en frío selectiva.

Huellas tecnológicas

En lo que respecta a las materias primas, huellas como muescas, roturas y rebordes dejados por los instrumentos del proceso tecnológico no afectan igual al conjunto de piezas, siendo más abundantes en las piezas de cobre, menos comunes en las de bronces ricos en estaño (15-17%) y no se documentan en los bronces pobres (5%). Las estrías, por su parte, son igualmente comunes sobre los tres tipos de materias. No hemos encontrado diferencias de huellas en función del tratamiento empleado con posterioridad a la fundición.

Huellas de uso

Como en el caso anterior las materias primas inciden de forma desigual sobre las distintas materias, tanto en la cantidad (más abundantes en cobre y bronces ricos) como en el tipo de huellas. Las hachas realizadas con bronces pobres han resultado más resistentes a ser deformadas por uso o por tratamientos tecnológicos que el resto pero, en cambio, desarrollan en mayor medida que las otras un tipo de huella característico como es el reborde. Tampoco en este apartado hemos observado diferencias en función del tipo de tratamiento post-fundición utilizado. Este hecho nos permite obviar dicha variable en futuros experimentos.

LIMITACIONES DE LA TRACEOLOGÍA METÁLICA

Al problema que supone realizar una experimentación metalúrgica, se suman una serie de factores que restringen la aplicación de la Traceología sobre el material metálico.

En primer lugar destaca el caso de las reutilizaciones, ya comentado, debido a la posible superposición de huellas de funciones distintas. El uso analizado sobre los instrumentos metálicos es siempre el último

uso, si bien a menudo la conjunción de evidencias distintas e incluso contradictorias merma las posibilidades de interpretación. La reparación de instrumentos con filos gastados puede llegar a eliminar toda evidencia de uso dando una falsa impresión de objeto no utilizado. Debido a ello el estudio de un objeto aislado no resulta significativo, pero del análisis amplio de series de objetos del mismo tipo pueden extraerse evidencias útiles de cara a establecer si no su empleo concreto, al menos si ha sido usado o no.

Otro problema substancial es la limitación marcada por el propio estado de conservación del material arqueológico metálico. Las alteraciones físico-químicas de corrosión, siendo la más común la aparición de tenorita, implican el enmascaramiento o incluso la pérdida definitiva de huellas. Asimismo, los procesos para frenar dicha degradación a través de la restauración pueden generar nuevas huellas que, igualmente, tapen o eliminen huellas antiguas. En el caso del pulimento, de gran importancia para detectar la materia trabajada, su desaparición en objetos experimentales se ha constatado muy rápida. Por el contrario las deformaciones mecánicas suelen sobrevivir sobre los bordes activos al ataque de las alteraciones, siempre que estas no sean muy fuertes. Otra cuestión, ya comentada, son las reparaciones en vida del instrumento que nos privan de dichas evidencias.

Finalmente hay que señalar el problema principal y que actualmente requiere mayor atención desde la experimentación: la superposición de huellas tecnológicas, de uso y postdepositacionales. Existen dificultades importantes en su discriminación, siendo el caso de las estrías paradigmático debido a la imposibilidad de distinguir en todos los casos entre origen tecnológico y de uso. Ello obliga a interpretar con cautela los materiales arqueológicos hasta no establecer con claridad el alcance de esta problemática.

El balance provisional de la Traceología sobre material metálico es que ésta es posible, si bien, de resultados más limitados que los obtenidos sobre industria lítica. Es preciso seguir experimentando para asentar el comportamiento de las variables en juego pero, además, es importante destacar que no hay otra forma posible de acercarse a la funcionalidad de los instrumentos que no sea a través del estudio de las huellas impresas sobre los instrumentos.

BIBLIOGRAFÍA

APPLEBY, G.A. 2003: *Warfare or use-wear: Conflicts in interpretation. An analysis of damage pattern in Bronze Age spears held in the Cambridge University* Museum of Archaeology & Anthropology. Magdalene College dissertation to the Degree of Bachelor of Arts in Archaeology and Anthropology.

BADAL, E.; GUTIÉRREZ, C.; CABRERA, A.; CORTÉS, M.; SIMÓN, M.D.; PARDO, A.I.; SÁNCHEZ, A. y GÓMEZ, M.J. 2007: "Evidencias de materias orgánicas en instrumentos metálicos del Calcolítico y Edad del Bronce andaluces". J. Molera, J. Farjas, P. Roura y T. Pradel (eds): *Avances en Arqueometría 2005.* Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría. Universidad de Girona: 229-240.

BENÍTEZ de LUGO, L; ÁLVAREZ, H.J.; MOLINA, L. y MORALEDA, J. 2007: *Consideraciones a cerca del Bronce de la Mancha a partir de al investigación en al cueva prehistórica fortificada de Castillejo del Bonete (Terrinches, Ciudad Real). Campañas 2003 – 2005.* Iªs Jornadas de Arqueología de Castilla-La Mancha. Cuenca, 2005.

BRIDGFORD, S. 2000: *Weapons, warfare and society in Britain 1250-7*50: 93-150. Unpublished Phd Dissertation, Sheffield University

GORDON, R.B. 1985: Laboratory Evidence of the Use of Metal Tools at Machu Picchu Peru) and Environs. *Journal of Archaeological Science* 12: 311-327.

GREENFIELD, H. J. 1999: “The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites”. *Journal of Archaeological Science* 26: 797-808.

GREENFIELD, H.J. 2002: “Distinguishing Metal (Steel and Low-tin Bronze) from Stone (Flint and Obsidian) Tool Cut Marks on Bone: An Experimental Approach”. J.R. Mathieu (ed): *Experimental Archaeology. Replicating past objects, behaviours and processes.* BAR International Series 1035: 35-54.

GUTIÉRREZ SÁEZ, C. e.p.: *Aproximación al estudio traceológico de un conjunto de piezas metálicas del Bronce final de Guadalajara. El Bronce final en la Meseta. II* Encuentros de Arqueología en Molina de Aragón.

GUTIÉRREZ, C. 2002: “Traceología aplicada al material metálico: límites y posibilidades”. I. Clemente, R. Risch y J.F. Gibaja (eds): *Análisis Funcional. Su aplicación al estudio de las sociedades prehistóricas.* BAR International Series 1073: 261-271.

GUTIÉRREZ, C.; MÁRQUEZ, R.; MARTÍN, C.; ALONSO, P.; JIMÉNEZ, E.; CAMPAYO, C.; GARCÍA, A.N.; MURCIA, F.; SERRANO, I.; ARIAS, C. y PARDO, A.I. 2005: “Arqueometalurgia y funcionalidad: una nueva aproximación al estudio de los metales en la Prehistoria”. O. Puche, O. Ayarzagüena y M. Sanz (eds). *III Simposio sobre Minería y Metalurgia Históricas en el Suroeste Europeo,* Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGM). Madrid: 107-113,

KIENLIN, T.L. y OTTAWAY, B.S 1998: “A flanged axes of the North-Alpine Region: an assessment of the possibilities of use-wear analysis on metal artefacts”. En C. Mordant, M. Pernot y V. Rychner (eds): *L’atelier du bronzier en Europe du XX^{o} au VIII siècle avant notre ère.* Actes du colloque international Bronze’96, Neuchâtel et Dijon, tome II: du mineral au métal, du métal à l’objet. Paris, CTHS.

KRISTIANSEN, K. 1977: “The Circulation of Ornaments and Weapons in Bronze Age Denmark”. *Archaeologia Baltica* 2: 77-91.

KRISTIANSEN, K. 1978: “The consumption of wealth in Bronze Age Denmark. A study in the dynamics of economic processes in tribal societies”. K. Kristiansen y C. Paludan-Müller (eds): *New Directions in Scandinavian Archaeology.* National Museum of Denmark: 158-190.

KRISTIANSEN, K. 2002: “The tale of the sword – swords and swordfighters in Bronze Age Europe”. *Oxford Journal of Archaeology,* 21.4: 319-332.

LIESAU, C. 1998: “El Soto de Medinilla: Faunas de mamíferos de la Edad del Hierro en el Valle del Duero (Valladolid, España)”. *Archaeofauna* 7.

LUCAS, R.; GUTIÉRREZ, C.; BLASCO, C. y ROVIRA, S. 2005-2006: El depósito de Miedes y otros materiales metálicos (Bronce Final/Hierro I) procedentes de la provincia de Guadalajara. *Boletín de la Asociación de Amigos de la Arqueología* 44: 129-160

LULL, V.; MICÓ, R.; RIHUETE HERRADA, C. y RISCH, R. 1999: *La Cova des Càrritx y la Cova des Mussol. Ideología y sociedad en la Prehistoria de Menorca.* Consell Insular de Menorca, Ajuntament de Ciutadella.

O’FLAHERTY, R. 2007: “A weapon of choice – experiments with a replica Irish Early Bronze Age halberd”. *Antiquity* 81: 423-434.

OLSEN, S.L. 1988: “The Identification of Stone and Metal Tool Marks on Bone Artifacts”. En S.L. Olsen (ed): *Scanning Electron Microscopy in Archaeology.* BAR International Series 452: 337-360.

OTTAWAY, B. y ROBERTS, B. 2003: “The use and significance of socketed axes during Late Bronze Age”. *European Journal of Archaeology* 6.2: 119-140.

ROVIRA, S. y DELIBES, G. 2005: “Tecnología metalúrgica campaniforme en la Península Ibérica: coladas, moldeado y tratamientos postfundición”. M.A. Rojo-Guerra, R. Garrido-Pena y I. García-Martínez (coords): *El campaniforme en la Península Ibérica y su contexto europeo.* Universidad de Valladolid: 495-512.

ROVIRA, S. y GÓMEZ, P 2003: *Las Primeras Etapas Metalúrgicas en la Península Ibérica. III.* Estudios metalográficos. Madrid.

SANDS, R. 1997. *Prehistoric Woodworking. The Analysis and Interpretation of Bronze and Iron Age Toolmarks.* Institute of Archaeology, University college of London. London

SEMENOV, S.A. 1956: “The working of wood in ancient Altai – according to the material from the Pazyryk barrows”. L. Longo y N. Skakun (eds). *The roots of use-wear analysis: selected papers of S. A. Semenov.* Memorie del Museo civico di Storia Naturale di Verona, Sezione Scienze dell’Uomo, 7, Verona: 53-67.

SEMENOV, S.A. 1964: *Prehistoric Technology.* Ed. Española 1981. Akal.

SORIANO, I. y GUTIÉRREZ, C. 2007: *Use-wear analysis on metal: the raw material and metallurgical work process influence.* 2nd International Conference Archaeometallurgy in Europe 2007. Associazione Italiana di Metallurgia. Aquileia.

VIVET, J.-B. 1997: “Un exemple d’analyse tracéologique sur bronzes : les haches du dépôt de Tréboul (29). Éléments d’interprétation”. M-Ch. Frére-Sautot (dir.): *Paléometallurgie des cuivres.* Monographies Instrumentum, 5: 173-178.

YORK, J. 2002: “The Life Cycle of Bronze Age Metalwork from the Thames”. *Oxford Journal of Archaeology* 21 (1): 77-92.

CARACTERIZACIÓN ELEMENTAL E ISOTÓPICA DE BRONCES DE LA NECRÓPOLIS PROTOHISTÓRICA CAN PITEU-CAN ROQUETA (SABADELL, BARCELONA)

ELEMENTAL AND ISOTOPIC CHARACTERIZATION OF BRONZES FROM THE PROTOHISTORIC NECROPOLIS OF CAN PITEU-CAN ROQUETA (SABADELL, BARCELONA)

M. CARME ROVIRA HORTALÀ[1], MARK A. HUNT ORTIZ[2], IGNACIO MONTERO RUÍZ[3], SALVADOR ROVIRA LLORÉNS[4], F. JAVIER LÓPEZ CACHERO[5]

(1) Museu d'Arqueologia de Catalunya. Passeig de Sta. Madrona 39-41. 08038 Barcelona. crovirah@gencat.cat
(2) Departamento Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla. C/ María Padilla, s/n. 41004 Sevilla. mhunt@us.es
(3) Instituto de Historia – CSIC. C/ Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. imontero@ih.csic.es
(4) Museo Arqueológico Nacional. C/Serrano, 13. 28001 Madrid. salvador.rovira@mcu.es
(5) SERP - Dpt. Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. Facultat de Geografia i Història. Universitat de Barcelona. C/ Montalegre, 6-8. 08001 Barcelona. xavierlopez@ub.edu

RESUMEN

En este estudio arqueometalúrgico se han analizado una selección de bronces de la necrópolis protohistórica de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona, N.E. España). Son elementos de ornamentación personal (fíbulas de pivote y de doble resorte así como una placa de cinturón) y una flecha de tipo "mailhaciense", fechados en la Primera Edad del Hierro, que han sido sometidos a análisis de fluorescencia de rayos X (ED-XRF) para determinar su composición elemental, con presencia tanto de bronces binarios como ternarios. Adicionalmente, fueron analizados mediante isótopos de plomo (TIMS). Los datos isotópicos se han confrontado con los de depósitos minerales peninsulares y mediterráneos para intentar determinar el origen del metal de los objetos y contrastar la hipótesis del carácter importado de los mismos. Los resultados indican que el metal tiene diversas procedencias y que bronces de la misma tipología tienen distintos orígenes.

ABSTRACT

In this archaeometallurgical study a selection of bronzes from the Protohistorical necropolis of Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona, N.E. Spain) have been analysed. The bronzes correspond to personal ornamental elements (various fibulae and a belt's plaque) and a "Mailhac" type arrowhead, all dated to the 1st Iron Age. They have been analysed by X-Ray Fluorescence (ED-XRF) for the determination of their elemental composition, showing the presence of both binary and ternary bronzes. Additionally, they were subjected to lead isotope analysis (TIMS). The isotopic data has been compared with those available from Peninsular and Mediterranean mineral deposits, to establish the origin of the metal of the objects and to prove their hypothetical imported consideration. The results indicate that the metal used has diverse provenance and that bronzes with the same typology present differentiated origins.

Palabras clave: Cataluña, NE España, Protohistoria, bronce, Fluorescencia de Rayos X (ED-FRX), isótopos de plomo (TIMS), origen de metal, fíbula.

Key words: *Key words: Catalonia, NE Spain, Protohistory, bronze, X-ray Fluorescence (ED-FRX), lead isotopes (TIMS), metal provenance, fibulae.*

I. INTRODUCCIÓN: CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

Los trabajos arqueológicos llevados a cabo en la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona) entre 1999 y 2001 han sacado a la luz el mayor conjunto funerario de incineración del Bronce Final y la Primera Edad del Hierro conocido hasta el momento en Cataluña, formado por aproximadamente 1.100 tumbas (Fig. 1). Su excavación ha revelado importantes ajuares metálicos, entre los cuales se cuentan numerosos bronces. La funcionalidad de los mismos es fundamentalmente ornamental (agujas, fíbulas y elementos anulares), aunque también se han documentado instrumentos de *toilette* personal (navajas y pinzas), elementos ofensivos (flechas de tipo "mailhaciense"), e incluso instrumental relacionado con los banquetes rituales (un *simpulum)* en la etapa final. El estudio de estos objetos permite junto con el análisis ceramológico, estratigráfico, arquitectónico y ritual, definir las distintas fases de uso de la necrópolis y las relaciones con otros ámbitos geográficos (Marlasca *et al.,* 2005; López Cachero *et al.,* 2006, en prensa; Carlús *et al,.* 2007).

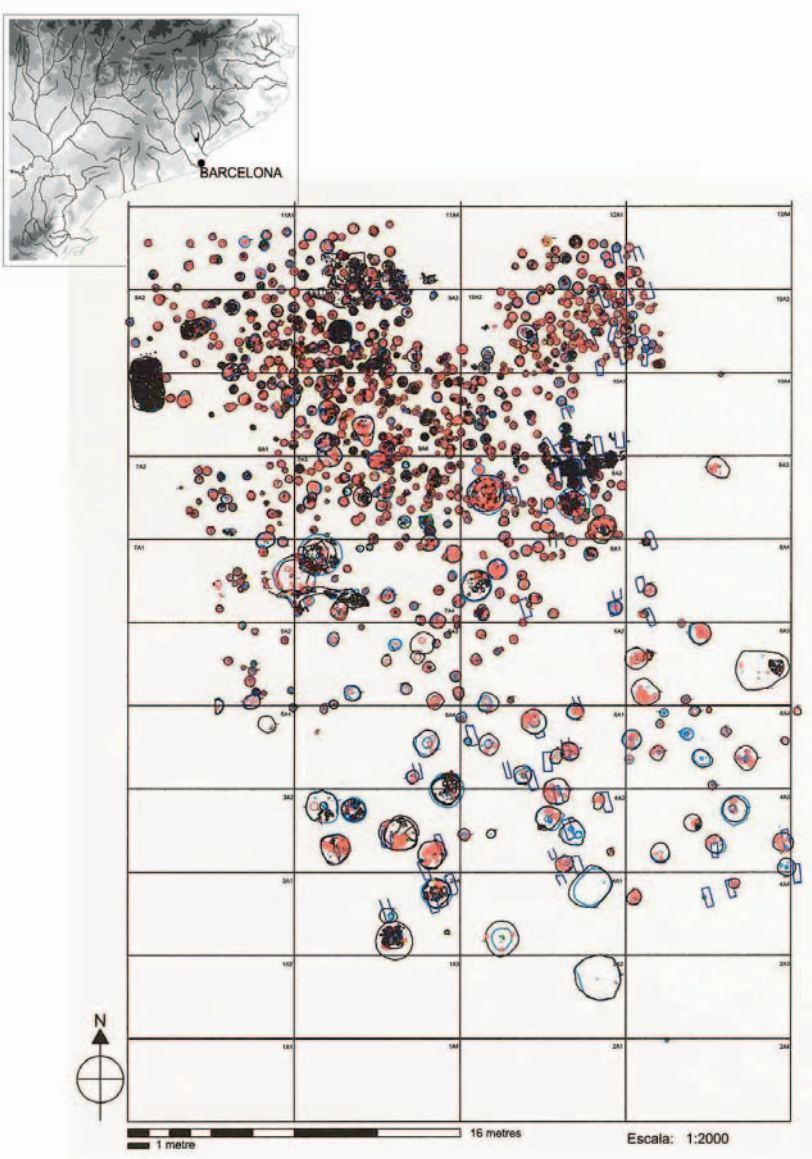


Figura 1. Situación y planta de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona) (Equip Can Piteu-Can Roqueta).

II. OBJETIVOS Y METODOLOGIA DE TRABAJO

Una de las líneas de investigación sobre los ajuares excavados en Can Piteu-Can Roqueta está centrada en el estudio de los bronces, interrelacionando los estudios tipológicos con los arqueométricos. Aquí presentamos los resultados de la primera fase de los trabajos de caracterización de la composición elemental y los análisis de identificación isotópica, efectuados estos últimos para la determinación del origen del metal de los objetos y contrastar la hipótesis del carácter importado de los mismos. Los fundamentos de esta técnica y su aplicación arqueometalúrgica han sido sintetizados en trabajos anteriores (Hunt, 1998; Montero y Hunt, 2006, Santos Zalduegui *et al.,* 2003).

La serie estudiada está formada por 10 muestras. Corresponden principalmente a ornamentos personales (una hebilla, seis fíbulas de pivote y dos de doble resorte) y a una punta de flecha con aletas, nervio central y pedúnculo engrosado de tipo "mailhaciense" (Figs. 2 y 3). Se trata de materiales con una problemática común dentro del conjunto metálico de este enclave. *A priori,* todos ellos entran en la categoría de producciones vinculadas a las redes de intercambio mediterráneo durante la Primera Edad del Hierro (s.VIII-VI a.C.) aunque las puntas de flechas denominadas "mailhacienses" a partir del yacimiento francés epónimo, se conocen ya desde el Bronce Final III (López Cachero *et al.,* 2006, en prensa). Así, se ha venido considerando que la difusión peninsular de las fíbulas de doble resorte estaba relacionada con la progresión del comercio fenicio, mientras que las fíbulas de pivote responderían a prototipos chipriotas, posteriormente reinterpretados en ámbito itálico o hispánico (Marlasca *et al.,* 2005: 1041-1043). También se ha incluido en este trabajo una placa de cinturón rectangular con un garfio, decorada con molduras y pequeños colgantes. Se trata de un tipo peculiar en el noreste peninsular, aunque con paralelos en otras necrópolis protohistóricas de incineración cercanas, en la misma provincia de Barcelona, como El Coll (Muñoz Rufo, 2006) y El Pla de la Bruguera (Clop *et al.,* 1998: 26-27, fig. 11), ambas en la zona del Vallès. Dado que también se identificó algún ejemplar entre la carga del pecio francés de Rochelongue (Agde) (Bouscaras y Hugues, 1967: 179-180, fig.3.5), con este estudio pretendemos comprobar si existen indicios de que pueda ser una manufactura foránea.

Figura 2. Tipos de piezas estudiadas: Placa de cinturón rectangular con un garfio.

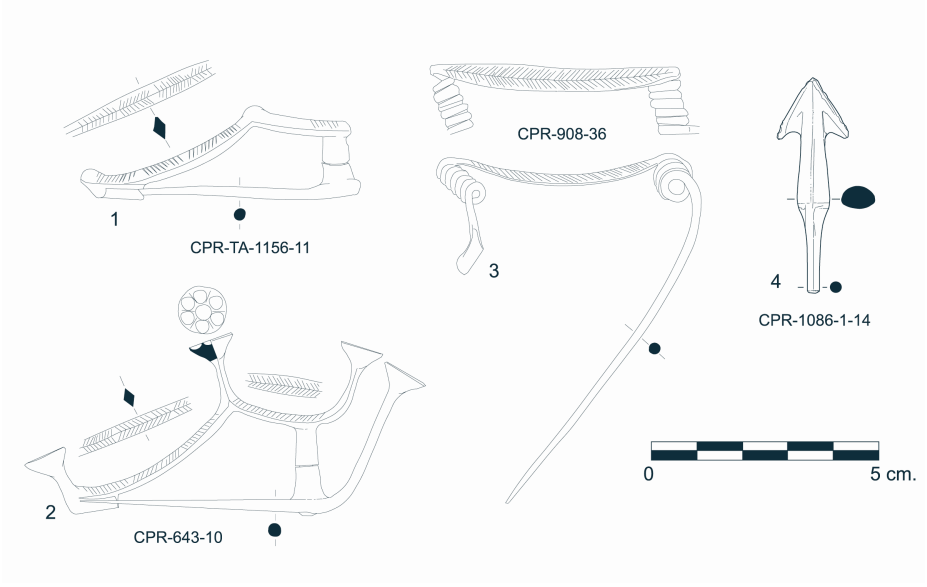


Figura 3. Tipos de piezas estudiadas: 1-2. Fíbula de pivote, 3. Fíbula de doble resorte, 4. Punta de flecha "mailhaciense".

En una primera fase de trabajo, los objetos han sido sometidos a análisis de espectrometría por fluorescencia de rayos X (ED-FRX) en el marco del "Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica" para determinar su composición, retirándose previamente del punto de análisis la corrosión superficial. El equipo de análisis utilizado es el espectrómetro instalado en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid) modelo METOREX X-MET 920MP con un detector de Si (Li), dotado de una doble fuente de Cd-109 y Am-241, cada una de ellas con una intensidad de 20mCi.

En una segunda etapa, las muestras extraídas de estos mismos objetos mediante perforaciones con broca de 1 mm, desechadas en cada uso para evitar contaminación, fueron analizadas[1] mediante isótopos de plomo (TIMS) con un espectrómetro de masas Finnigan Mat 262 con 8 cajas de Faraday y un SEM perteneciente al Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU), siguiendo la rutina analítica ya dada a conocer (Santos Zalduegui *et al.,* 2004).

III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Características de las aleaciones

Según los datos analíticos obtenidos (Tabla 1) se trata de aleaciones de bronce, con predominio de bronces binarios (Cu-Sn) y presencia de algunos ternarios (Cu-Sn-Pb). Los índices de estaño oscilan entre el 7.4 y el 16.4% mientras que la media se sitúa en el 12.5% para los binarios y en 12.16% para los ternarios. Las dos fíbulas de doble resorte, la mitad de las fíbulas de pivote y la punta de flecha se incluyen en el grupo de los bronces binarios. Las tres restantes fíbulas de pivote tienen contenidos de plomo entre 1.64 y 2.84%, mostrando en su conjunto el grupo de las fíbulas de pivote una considerable diversidad de composiciones y calidades. La placa o hebilla de cinturón presenta el mayor contenido en plomo (7.64%), correspondiendo claramente a un bronce ternario.

Nº ANALISIS	TIPO	Nº INVENT	NOTAS	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	b
PA10528	Fíbula pivote	CPR-1044-31		0.21	nd	84.5	nd	nd	0.067	14.4	nd	0.82
PA10529	Fíbula doble resorte	CPR-487-30	Contam. Fe	--	nd	86.0	nd	0.07	0.020	13.7	0.015	0.20
PA10530	Fíbula pivote	CPR-363-15		0.23	nd	90.1	nd	nd	0.023	7.97	0.056	1.64
PA10532	Fíbula pivote	CPR-TA-1144-1		0.12	0.02	82.3	nd	0.19	0.058	16.4	nd	0.91
PA10533	Fíbula pivote	CPR-643-10		0.11	nd	91.9	nd	nd	0.009	7.40	0.004	0.62
PA10540	Fíbula doble resorte	CPR-596-7		0.13	nd	85.7	nd	nd	0.006	13.9	nd	0.24
PA10541	Fíbula pivote	CPR-TA-1151-1		0.14	nd	83.7	nd	nd	0.016	14.1	0.024	1.97
PA10545	Fíbula pivote	CPR-TA-1156-11		0.13	0.02	85.5	nd	nd	0.020	11.5	0.007	2.84
PA10599	Punta flecha	CPR-1086-1		0.07	nd	90.0	nd	0.27	0.11	9.32	0.12	0.23
PA10629	Hebilla cinturón (placa)	CPR-1025-25		0.10	nd	77.1	nd	nd	0.034	15.1	0.059	7.64

Tabla 1. Composición elemental de los materiales de Can Piteu-Can Roqueta. Análisis realizados por ED-XRF. Valores expresados en % en peso (nd= no detectado).

1. Análisis financiados por el Área de Coneixement i Recerca del Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació de la Generalitat de Catalunya.

Por lo que respecta las aleaciones de bronce binarias (6 ejemplos con menos de 1.5% Pb), se observa que el plomo se presenta como elemento secundario, con valores superiores a los del hierro. La plata es una impureza habitual, acompañada en muchos casos de antimonio y más ocasionalmente de arsénico[2]. Cabe señalar que el arsénico sólo ha sido detectado en estas aleaciones binarias (en una fíbula de doble resorte, otra de pivote y en la flecha), mientras que el níquel aparece en una única muestra (la fíbula de pivote anteriormente citada). Dentro del grupo de los bronces que han sido denominados como ternarios[3] (4 ejemplos), se aprecia que la hebilla está mucho más plomada que las fíbulas de pivote y que las impurezas de plata y antimonio aparecen recurrentemente. Además, como en los bronces binarios, sólo se encuentra níquel en una de las fíbulas de pivote.

En general, si se compara la composición elemental de todas estas piezas con la de materiales similares documentados en otros yacimientos catalanes contemporáneos, se advierte que la calidad (determinada por la riqueza en estaño) es un rasgo común a las manufacturas en uso durante la Primera Edad del Hierro, especialmente en el Vallés. Sería el caso, por ejemplo, de otra placa de cinturón rectangular con un garfio localizada en la necrópolis del Pla de la Bruguera aunque éste no sea un bronce plomado como el nuestro, sino binario (19.2% Sn) (Montero *et al.,* 1998: 103, tabla I). De ese mismo lugar proceden además dos fíbulas de doble resorte, con aleaciones (bronces binarios muy ricos en estaño) muy parecidas[4] a las de los ejemplares de Can Piteu-Can Roqueta. Por otro lado, en el sector de hábitat denominado DIASA, los bronces más recientes también presentan composiciones similares a las de los materiales depositados en las cercanas tumbas de Can Piteu-Can Roqueta, siendo su valor medio de estaño de 12.75% (Carlús *et al.,* 1999: 174-175).

Finalmente, resulta interesante contrastar los resultados obtenidos en este proyecto sobre las fíbulas de pivote (que representan más de la mitad de muestras estudiadas) con otros datos conocidos sobre esta clase de ornamentos a mayor escala. Así, se constata que dos piezas documentadas en la provincia de Tarragona (en la necrópolis de El Calvari y en el núcleo residencial de Sant Jaume Mas d'en Serrà), resultan ser igualmente bronces binarios con una composición muy parecida a los ejemplares de Can Piteu-Can Roqueta, aunque sólo el de Calvari presente níquel entre sus impurezas (Armada *et al.,* 2005: 147, tablas 1 y 3). Por otra parte, el reciente análisis de una nueva fíbula (inédita) en el enclave de Torreromeu (otro yacimiento incluido en el complejo arqueológico de Can Roqueta) ratifica que en Cataluña las variedades ternarias están poco plomadas.

También a nivel peninsular, se ha constatado la dualidad entre aleaciones binarias y ternarias durante la protohistoria, pero los índices de estaño (entre el 5 y el 16%) se sitúan en una horquilla de valores algo más amplia que en Cataluña (Blasco *et al.,* 2006: 118-119), lo que se traduce en la existencia de productos de calidad baja, media y alta. Además, parece detectarse un progresivo incremento del plomo a lo largo del tiempo, aspecto que en Cataluña, con los datos disponibles por ahora, no puede ratificarse.

Procedencia del metal

Se ha investigado sobre la posible procedencia de los ajuares de bronce de Can Piteu-Can Roqueta a partir de las relaciones isotópicas de las muestras analizadas con las de, fundamentalmente, mineralizaciones del NE, y con otras mineralizaciones de ámbito peninsular y también mediterráneo para estable-

2. Dichos elementos se presentan en mayor proporción en la punta de flecha que en el resto de muestras estudiadas.

3. Consideramos bronces ternarios aquellos que incluyen valores de plomo superiores al 2% en peso.

4. A pesar de dichas similitudes hay que remarcar que las altas impurezas de plata que incluyen todos los bronces del Pla de la Bruguera son extraordinarias.

cer un primer acotamiento de las líneas de investigación futuras. A este respecto, se debe señalar que en el caso de los bronces binarios, los resultados isotópicos (al no contener plomo añadido) indicarían la procedencia del cobre; en el caso de los bronces que muestran contenidos relativamente altos de plomo, los resultados isotópicos corresponderían al plomo de la aleación o bien a la mezcla de cobre y plomo.

Los resultados (Tabla 2) muestran, en síntesis, que el metal de los objetos de Can Piteu-Can Roqueta tiene diversas procedencias. Paralelamente, bronces de un mismo tipo tienen distintos orígenes, algo especialmente claro en el caso de las fíbulas de doble resorte.

TIPO	Nº INVENT	Nª Análisis XRF	Pb208/Pb206	Pb207/Pb206	Pb206/Pb204
Fíbula pivote	CPR-1044-31	PA10528	2,105090	0,856256	18,280
Fíbula doble resorte	CPR-487-30	PA10529	2,096956	0,852794	18,356
Fíbula pivote	CPR-363-15	PA10530	2,109584	0,857244	18,318
Fíbula pivote	CPR-TA-1144-1	PA10532	2,105044	0,856085	18,297
Fíbula pivote	CPR-643-10	PA10533	2,104421	0,855140	18,361
Fíbula doble resorte	CPR-596-7	PA10540	2,087669	0,847078	18,470
Fíbula pivote	CPR-TA-1151-1	PA10541	2,105848	0,856639	18,266
Fíbula pivote	CPR-TA-1156-11	PA10545	2,108758	0,857886	18,247
Punta flecha	CPR-1086-1	PA10599	2,093872	0,852917	18,339
Hebilla cinturón (placa)	CPR-1025-25	PA10629	2,110019	0,857317	18,346

Tabla 2. Composiciones isotópicas de plomo de los materiales estudiados de Can Piteu-Can Roqueta.

Así, a grandes rasgos, se podrían establecer 3 grandes grupos: el primero estaría constituido por una de las fíbulas de doble resorte (PA10540), el segundo, por la otra fíbula de doble resorte (PA10529) y la punta de flecha, mientras que el tercero estaría compuesto por el resto de muestras (las fíbulas de pivote y la hebilla) aunque ello no implica un mismo origen para el metal de todas estas últimas (Fig. 4).

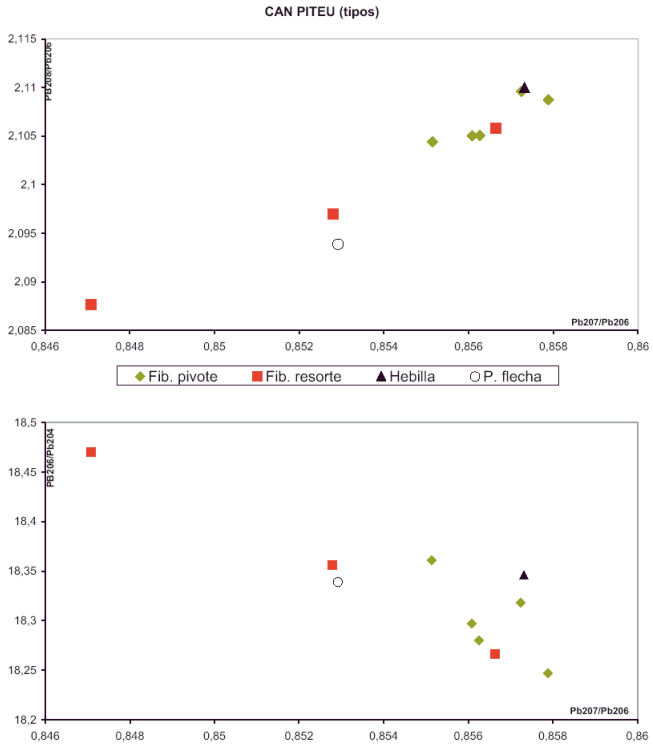


Figura 4. Representación gráfica bivariable de resultados isotópicos de las muestras de Can Piteu-Can Roqueta.

La determinación del origen geográfico de los bronces de Can Piteu-Can Roqueta resulta compleja. En general, respecto a las mineralizaciones regionales, la caracterización isotópica de los depósitos minerales del NE de la Península Ibérica llevada a cabo dentro del proyecto "Plata Prerromana en Cataluña" (Montero *et al.,* 2008) muestra que algunos de los bronces de Can Piteu-Can Roqueta tienen composiciones isotópica similares a mineralizaciones catalanas (Fig. 5), por lo que la producción regional no se puede descartar para la mayoría de las mismas.

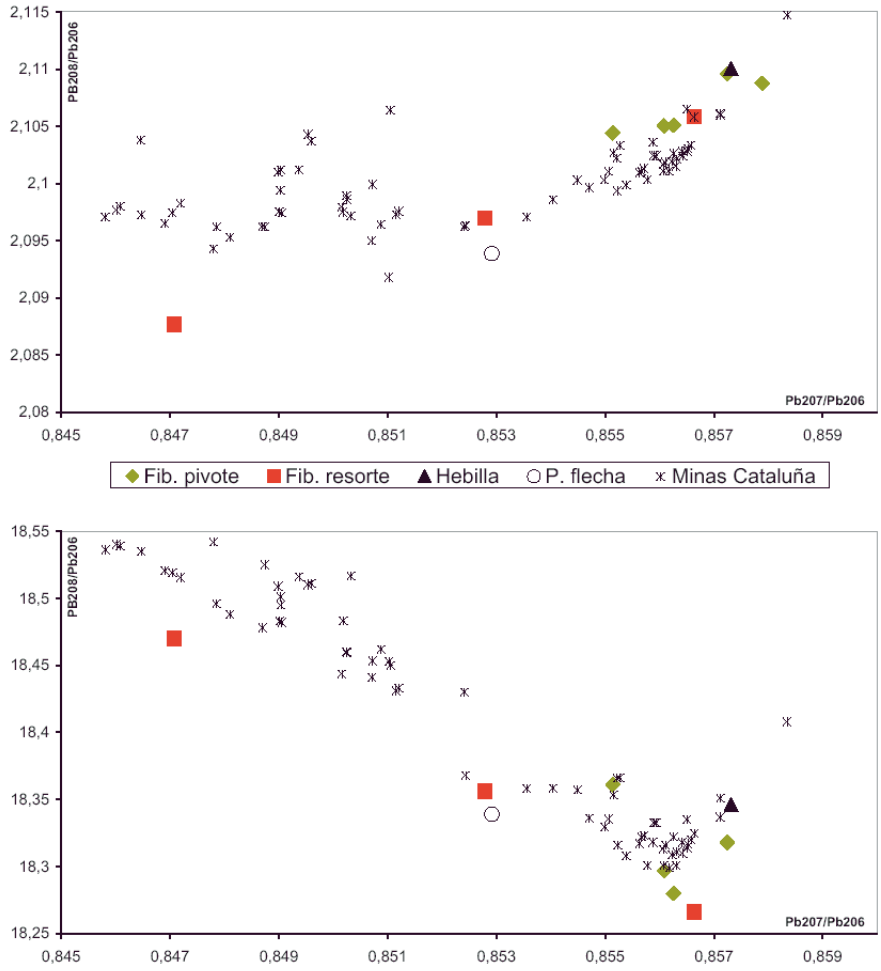


Figura 5. Representación gráfica bivariable de comparación entre los resultados isotópicos de los bronces analizados de Can Piteu–Can Roqueta y los de depósitos minerales catalanes.

Por otra parte, la punta de flecha y las fíbulas de doble resorte tienen composiciones similares a las de mineralizaciones de cobre de la región francesa de Cévennes[5] (Le Guen *et al.,* 1991, Baron *et al.,* 2006) (Fig. 6). Además, en el Mediterráneo central, se conocen depósitos minerales de la isla de Cerdeña que muestran composiciones isotópicas en el rango de los bronces de Can Piteu. En cambio, los depósitos minerales de la península itálica caracterizados isotópicamente (Hunt, 2003) no son consistentes con las composiciones isotópicas de los objetos de Can Piteu-Can Roqueta (Fig. 7), por lo que quedan claramente excluidos como origen de la materia prima utilizada.

5. En estos dos casos que constituyen un grupo diferenciado de procedencia se aprecia también una composición elemental similar a nivel cualitativo, caracterizada por la asociación de impurezas As-Ag-Sb-Pb.

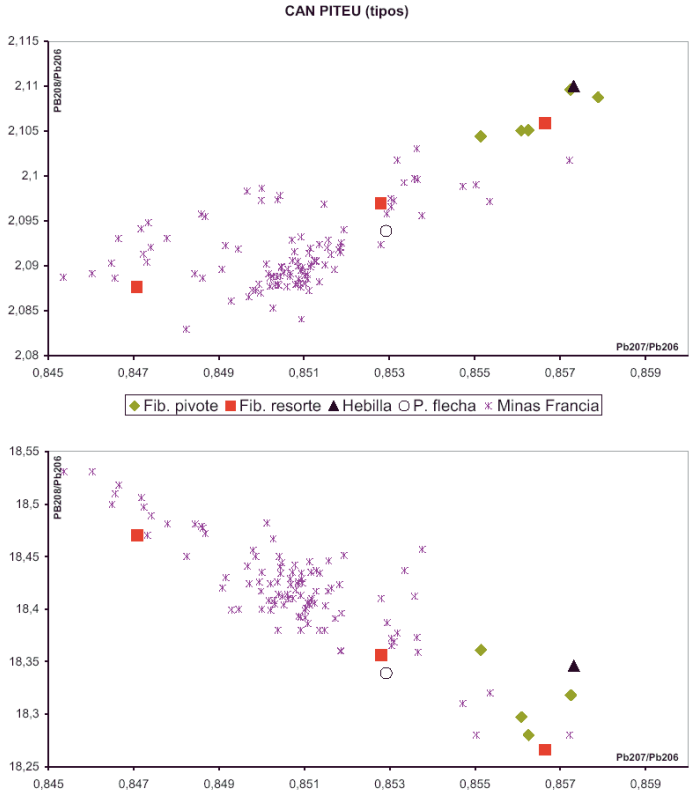


Figura 6. Representación gráfica bivariable de comparación entre la composición isotópica de los bronces de Can Piteu–Can Roqueta analizados y la de depósitos minerales franceses.

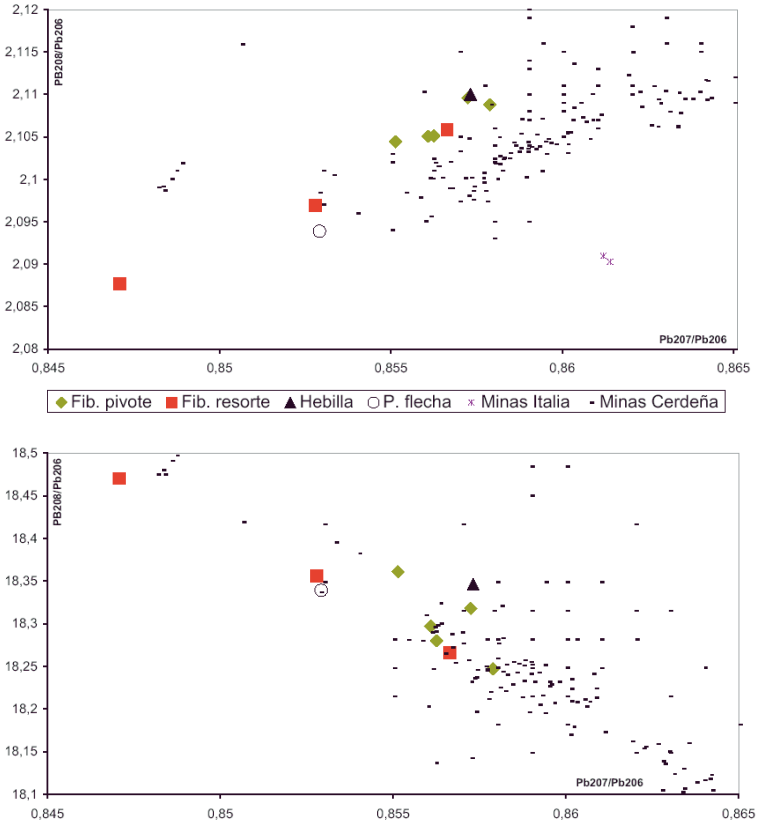


Figura 7. Representación gráfica bivariable de comparación entre la composición isotópica de los bronces de Can Piteu–Can Roqueta analizados y la de depósitos minerales centro-mediterráneos.

IV. CONCLUSIONES: CARACTERÍSTICAS Y PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

En síntesis, a nivel de composición elemental, el conjunto estudiado es heterogéneo pero de calidad, con predominio de los bronces binarios sobre los ternarios. Si se efectúa una lectura de los datos bajo criterios tipológicos, se aprecia por ejemplo que los dos subgrupos de fíbulas mantienen sus peculiaridades: así, por un lado, las dos piezas de doble resorte son muy parecidas entre sí al tratarse de bronces binarios con una proporción de estaño elevada (c.14%), aunque sólo una de ellas incluye impurezas de arsénico y antimonio; en cambio, las fíbulas de pivote se elaboraron con varias aleaciones binarias y ternarias de distintas calidades. Desde el punto de vista técnico se advierte que el hecho de usar bronce binario para las de doble resorte, facilitaría la conformación del metal, al tratarse de piezas elaboradas manualmente, mientras que las piezas de pivote son piezas de fundición, para las que las aleaciones ternarias son más adecuadas.

Por su parte, la punta de flecha puede considerarse un buen producto, pero de menor calidad que ciertas fíbulas y la placa de cinturón. Sus índices de plata y antimonio son más elevados que en el resto de muestras. La hebilla también resulta peculiar en el conjunto de materiales al tratarse de un bronce muy plomado, rasgo que no parece estar relacionado con la necesidad de ahorrar estaño para abaratar costes, pues éste alcanza el 15.1%. Esta aleación ternaria tiene que ver más posiblemente con un interés práctico ya que al tratarse de una pieza de fundición, el plomo hace más fluida la colada y mejora el resultado de la operación, especialmente el acabado de la decoración a base de líneas en relieve.

En definitiva, el estudio arqueométrico de este conjunto de bronces no sólo ha permitido conocer sus características a nivel de composición elemental, sino también constatar que durante la Primera Edad del Hierro estuvieron en uso en la zona central del prelitoral catalán (actual Vallès) manufacturas de calidad, cuyas fuentes de aprovisionamiento estaban diversificadas. Así, una primera aproximación a los resultados isotópicos indica que los materiales de origen local coexistieron con otros procedentes de lugares más alejados dentro del ámbito del Mediterráneo occidental, confirmando la existencia de redes de intercambio supra-regionales en las que el metal, ya fuera en forma bruta o en forma de productos acabados, circulaba.

BIBLIOGRAFÍA

ARMADA, X.L.; GARCIA RUBERT, D.; MONTERO, I.; MORENO, I.; RAFEL, N. y ROVIRA, M.C. 2005: "Minería y metalurgia durante la I Edad del Hierro. Procesos de cambio en el sur de Catalunya". *Revista de Arqueologia de Ponent* 15: 133-150.

BARON, S.; CARGNAN, J.; LAURENT, S. y PLOQUIN, A. 2006: " Medieval lead making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): trancing ore rosources using Pb isotopes". *Applied Geochemistry* 21, 2006: 242-252.

BLASCO, C.; ROVIRA LLORÉNS, S.; GUTIERREZ, C. y LUCAS PELLICER, R. 2006: "Fíbulas antiguas procedentes de distintos yacimientos del alto Tajo. Origen, tecnología y paralelos peninsulares". En J.M. Maillo y E. Baquedano (eds.): *Miscelánea en homenaje a Victoria Cabrera. Zona Arqueológica* 7, II: 108-119.

BOUSCARAS, A. y HUGHES, C. 1967: "La cargaison des bronzes de Rochelongues (Agde, Hérault)". *Rivista di Studi Liguri* XXXIII, *Hommage à F. Benoit* (I): 173-184.

CARLÚS, X.; FRANCÈS, J.; MARTÍN, A. y MONTERO, I. 1999: "La producció metal·lúrgica". En P. González; A., Martín, y R. Mora. *Can Roqueta. Un establiment pagès prehistòric i medieval (Sabadell, Vallès Occidental).* Excavacions Arqueològiques a Catalunya 16. Departament de Cultura – Generalitat de Catalunya. Barcelona: 174-176.

CARLÚS, X.; LARA, C.; LÓPEZ CACHERO, F.J. y VILLENA, N. 2007: "La necròpolis d'incineració de Can Piteu-Can Roqueta". En X. Carlús, F.J. López Cachero, M. Oliva, A. Palomo, A. Rodríguez, N. Terrats, C. Lara y N. Villena (coords.): *Cabanes, sitges i tombes. El paratge de Can Roqueta (Sabadell, Vallès Occidental) del 1300 al 500 ANE.* Quaderns d'Arqueologia 4. Museu d'Història de Sabadell. Sabadell: 137-182.

HUNT, M.A. 1998: "Análisis de isótopos de plomo aplicado a la arqueología". En J. Fernández-Manzano y F.J. Sarabia (eds.): *Arqueometalurgia del bronce. Introducción a la metodología de trabajo. Studia Archaeologica* 86. Universidad de Valladolid. Valladolid: 99-108.

HUNT, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula.* BAR International Series 1188. Oxford.

LE GUEN, M.; ORGEVAL, J.-J. y LANCELOT, J. 1991: "Lead isotope behaviour in a polyphased Pb-Zn ore deposit: Les Malines (Cévennes, France)". *Mineralium Deposita* 26(3), 1991: 180-188.

LÓPEZ CACHERO, J.; ROVIRA, M.C.; CARLÚS, X.; LARA, C. y VILLENA, N. 2006 en prensa: "Nouvelles dones concernant la transition entre le bronze final et le premier Âge du fer en Catalogne côtière: la necropole à incineration de Can Piteu – Can Roqueta (Barcelone – Espagne)". *Actes du XXX Colloque AFEAF* (Saint-Romain –en-Gal-Vienne 2006).

MARLASCA, R.; ROVIRA, M.C.; CARLÚS, X.; LÓPEZ CACHERO, J. y VILLENA, N. 2005: "Materiales de importación en la necrópolis de Can Piteu – Can Roqueta (Sabadell, Barcelona)". En: S. Celestino y J. Jiménez (dirs.): *El periodo orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: protohistoria del Mediterráneo Occidental (Mérida 5-8/5/2003).* Anejos del Archivo Español de Arqueología XXXV: 1039-1049.

MONTERO, I.; GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA LLORÉNS, S. 1998: "Estudi analític d'alguns materials metàl.lics de la necròpoli del Pla de la Bruguera". En: X. Clop, M. Faura, M. Gangonells, M. Molist y C. Navarro 1998: *El Pla de la Bruguera. Centre de distribució SONY.* Excavacions Arqueològiques a Catalunya 15. Departament de Cultura – Generalitat de Catalunya. Barcelona: 101-104.

MONTERO RUIZ, I. y HUNT, M. 2006: "Aplicació d'análisi d'isótops en la investigació arqueometal·lúrgica". *Cota Zero* 21: 87-95.

MONTERO RUIZ, I.; GENER, M.; HUNT, M.; RENZI, M. y ROVIRA, S. 2008: "Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña". *Revista de Arqueología de Ponent* 18: 292-316.

MUÑOZ RUFO, V. 2006: "El Coll (Llinars del Vallès): una segona tomba del Ferro I". *Cypsela* 16: 183-194.

SANTOS ZALDUEGUI, J.F.; GARCÍA DE MANDINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. y PALERO, F. 2004: "A lead isotope database: the Los Pedroches–Alcudia area (Spain): implications for archaeometallurgical connections across southwestern and southeastern Iberia". *Archaeometry* 46 (4): 625-634.

SANTOS ZALDUEGUI, J.F.; GARCÍA DE MADINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. y SÁEZ, R. 2003: "Los isótopos de plomo en arqueología: metodología analítica y ejemplos de aplicación". En Mª José Feliu et alii (eds.): *Avances en arqueometría 2003.* Universidad de Cádiz: 25-34.

TECNOLOGÍA DE LAS PRIMERAS MANUFACTURAS FÉRRICAS EN EL NORESTE DE LA PENINSULA IBÉRICA

FIRST IRON TECHNOLOGY IN NORTHERN IBERIAN PENINSULA

M. CARME ROVIRA HORTALÀ

Museu d'Arqueologia de Catalunya. Passeig de Santa Madrona 39-41. 08038 Barcelona. crovirah@gencat.cat

RESUMEN

El estudio de los primeros hierros del noreste de la Península Ibérica se ha abordado tradicionalmente desde la óptica tipológica y sólo muy puntualmente desde la arqueométrica. Este trabajo amplía el conocimiento tecnológico de algunos de estos materiales de entre los s.VII y VI a.C., con el fin de averiguar los procedimientos de elaboración empleados y su calidad. Para ello se han realizado exámenes ópticos mediante lupa binocular y estudios metalográficos y microanalíticos con MEB-EDS sobre muestras del repertorio más característico (cuchillos y elementos ornamentales).

ABSTRACT

First iron objects from north-eastern Iberian Peninsula have been always studied typologically and only scarcely from an archaeometric point of view. This paper extends our technological knowledge about some of these items from the 7th and 6th centuries BC. In order to recognise working procedures used to produce them and their technical quality, samples of the most ordinary items (knifes and ornaments) are characterised by metallographic and microanalytical techniques using SEM-EDX and stereoscopic optical microscope.

Palabras clave: Hierro, acero, Primera edad del hierro, Catalunya, siderurgia, tecnología, análisis mediante MEB-EDS.

Key words: *Iron, steel, First Iron Age, Catalonia, iron metallurgy, technology, SEM-EDX analyses.*

I. OBJETIVOS

Comprender los orígenes del hierro resulta fundamental en la investigación protohistórica del Mediterráneo occidental. Tratamos el caso concreto del nordeste de la península ibérica durante la primera fase de la Edad del Hierro, abarcando por tanto los s.VII y VI a.C. Aunque tradicionalmente el inicio de esta etapa en Catalunya se haya situado en el 650 a.C., los resultados aportados por yacimientos recientemente excavados nos permiten avanzar su arranque hasta como mínimo el 700 a.C. (López Cachero *et al.,* en prensa). Gracias a estos trabajos también se ha ampliado notablemente el corpus de los primeros hierros conocidos en el NE de la Península Ibérica, constatando su incremento numérico y el del repertorio tipológico.

Se trata de objetos ornamentales y de uso práctico que aparecen fundamentalmente en contexto funerario y más esporádicamente en núcleos residenciales (Rovira, 1998, 2007). Nuestra línea de investigación tiene como objetivo complementar los datos morfológicos con el estudio arqueométrico de una selección de dichos materiales. Pretendemos así, conocer aspectos esenciales como sus técnicas de manufactura y la aptitud funcional de cada tipo de objeto así como en un futuro, una vez contrastados los datos con los de otras zonas, plantear si existen rasgos tecnológicos que permitan definir talleres o áreas productivas.

II. METODOLOGIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS

En general existen diversos aspectos que limitan el estudio arqueométrico de los vestigios férricos antiguos: por una parte, los intrínsecos procesos de corrosión que padecen suelen traducirse en objetos frágiles, incompletos, fragmentados, exfoliados y muy mineralizados; por otra parte, las muestras destinadas al estudio metalográfico que deben ser extraídas de los objetos no resultan fáciles de reintegrar posteriormente, debido a lo cual, por prudencia los mejores ejemplares suelen quedar al margen de dichos exámenes. Por si fuera poco, la mayoría de los primeros hierros del nordeste peninsular procede de contextos funerarios, por lo que a menudo se han visto afectados por el ritual de cremación, deformándose y viendo alteradas sus cualidades físicas. Todo ello limita pues el volumen de material potencialmente analizable así como la calidad de la información obtenida. Para intentar paliar los inconvenientes mencionados, nuestro protocolo de muestreo prima en la medida de lo posible la selección de metal que no haya sido sometido a los efectos de la cremación, así como el análisis de secciones completas de las piezas y la comparación entre áreas funcionales y no-funcionales de las mismas.

Aquí presentamos resultados referentes a seis piezas férricas (cuatro cuchillos, un colgante y una fíbula sepentiforme) (tabla 1) como avance de un trabajo en curso que recoge por ahora una treintena de piezas. Se trata de una serie corta de materiales pero que corresponden a las tipologías más corrientes en Catalunya durante la primera Edad del Hierro (Pons, 1984; Rovira, 1998, 2007) y proceden tanto de contextos funerarios como de establecimientos residenciales del conjunto del territorio, aunque predominan las muestras del prelitoral catalán, sector donde en los últimos años se han incrementado de manera más importante los hallazgos, especialmente en el área de Sabadell (Carlús *et al.,* 2007) y donde también ha crecido el número de piezas metalografiadas aunque pocas de ellas hayan sido publicadas (Rovira, 2007). Así mismo, podemos señalar que algunas de las muestras que expondremos a continuación proceden de los yacimientos más emblemáticos de las necrópolis de incineración protohistóricas de esta región (también clasificadas bajo el concepto de “campos de urnas”) (Ruiz Zapatero, 1985; López Cachero, 2005).

De cada uno de los objetos estudiados se ha tomado una muestra que corresponde a la sección transversal completa de un área significativa. Todas ellas han sido examinadas en primer lugar con la lupa binocular Leica del Museu d’Arqueologia de Catalunya. La preparación para exámenes metalográficos ha implicado su embutido en probetas metalográficas de resina y el pulido metalográfico, efectuados en el

REFERENCIA	YACIMIENTO	CONTEXTO	OBJETO	ZONA MUESTRA	CRONOL.
A204	Can Bech de Baix (Agullana, Girona)	Tumba 204	Cuchillo	Sec. transversal hoja	s.VII aC
CPR1007.428	Can Piteu - Can Roqueta (Sabadell, Barcelona)	Tumba 1007	Cuchillo	Sec. transversal hoja	s.VII aC
CR554.109	Can Roqueta II (Sabadell, Barcelona)	E-554	Cuchillo	Sec. transversal hoja	VII-VI aC
P35	La Pedrera (Vallfogona, Térmens, Lleida)	Tumba 35	Cuchillo	Sec. transversal hoja	VII-VI aC
A8	Anglès (Anglès, Girona)	Tumba 8	Colgante	Sec. longitudinal	s.VII aC
CG336	Can Gambús (Sabadell, Barcelona)	E-336	Fíbula serpentiforme	Sec. longitudinal apéndice	VII-VI aC

Tabla 1. Listado de muestras estudiadas

Servei de Làmina Prima - Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona. La caracterización de los materiales (atacados con nital al 5%) se ha realizado mediante microscopia electrónica de barrido (MEB/SEM), empleando el microscopio Leica Cambridge Stereoscan S360 dotado de un equipo de microanálisis por dispersión de energías de rayos X (EDS/EDX) INCA Energy Serie 200 de Oxford Instruments instalado en el Servei de Microscopia Electrònica - Serveis científicotecnics de la Universitat de Barcelona.

III. RESULTADOS

Cuchillos

Los cuchillos estudiados corresponden a ejemplares de mango remachado y hoja estrecha con la punta diferenciada (tipo Grand Bassin I). Tal como se especifica en la tabla 1 su procedencia es diversa y de cada uno hemos analizado una sección completa de su hoja, preferiblemente en la línea de fractura, dado que se trata de ejemplares incompletos. Los más antiguos proceden de la tumba 1007 de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona) (López Cachero, 2005; Carlús *et al.,* 2007) y de la 204 de Can Bech (Agullana, Girona) y se atribuyen al s.VII a.C. La primera de las sepulturas estaba bastante arrasada pero el material férrico (dos cuchillos y restos de vástagos indeterminables) apareció en el fondo de la urna cineraria, un vaso bicónico a mano al que acompañaban otros recipientes entre los que destaca un ejemplar pithoide fenicio (Marlasca *et al.,* 2005: 1044-1045) así como fragmentos de una posible aguja de cabeza enrollada de bronce. En cuanto a la estructura de Agullana, era aparentemente doble, y entre los fragmentos de hierro, considerados en principio indeterminados (Palol, 1958: 173-174), hemos podido documentar la parte distal de la hoja de un pequeño cuchillo que ha sido analizada.

El ejemplar de la tumba 35 de la necrópolis de la Pedrera (Vallfogona-Térmens, Lleida) también puede fecharse entre los s.VII y VI a.C., sin más precisiones debido a la poca información disponible sobre los conjuntos funerarios de esta necrópolis, destruida en 1958 (Plens y Rafel, 2002) y sería contemporáneo al aparecido en el relleno de la estructura 554 de Can Roqueta II (Sabadell, Barcelona) (Carlús *et al.,* 2007), cuya hoja, aunque rota, se ha conservado en buena parte. Ambos cuchillos son inéditos.

Las hojas de todos los ejemplares citados muestran una gran fibrosidad, típica del hierro forjado, avanzada mineralización así como una macroestructura bastante simétrica, con una zona central menos compacta que el resto, tal como muestra la imagen metalográfica de la sección del procedente de la tumba 1007 de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (fig.1).

Dichas características indican que la elaboración de los cuchillos se haría esencialmente en dos fases: primero se plegaba en sentido longitudinal una lámina de metal rectangular en dos mitades similares, que

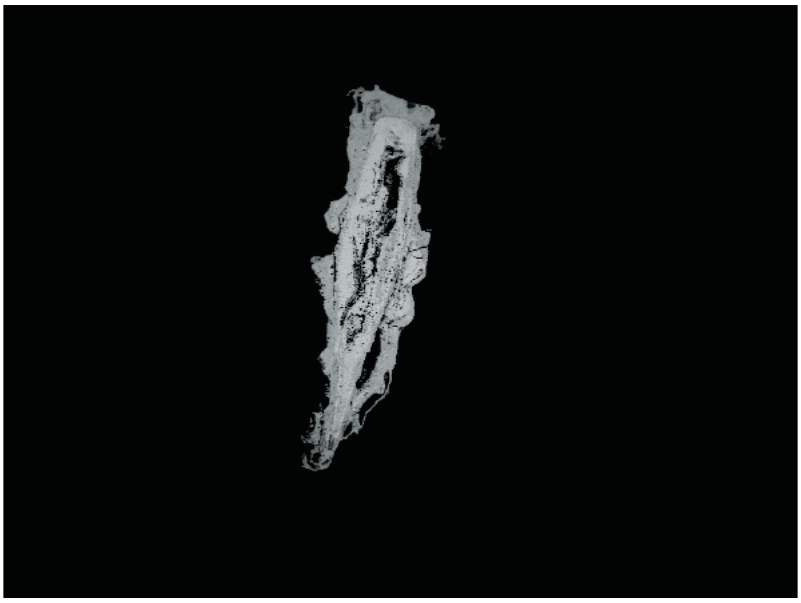


Figura 1. Imagen macroestructural de una sección transversal completa de la hoja de un cuchillo férrico de Can Piteu - Can Roqueta (CPR1007.428) obtenida por SEM / BSE (x 5,3). Metal muy mineralizado y recubierto por corrosión. Perfil casi romboidal con el dorso marcado, ensanchamiento central y el filo muy delgado. Las fibrosidades del metal y las zonas huecas de la zona central están orientadas en el mismo sentido longitudinal debido al trabajo de compactación por forja.

luego se sometían a un martilleo y soldadura a la calda. El trabajo se intensificaba en el filo y la punta de la hoja, compactando y estirando más el metal, pero la unión de los dos pliegues no solía completarse en el centro, donde quedaba una cavidad.

Por lo que se refiere a la calidad del metal apreciamos distintas realidades. A menudo las proporciones de carbono varían en el interior de cada pieza. Sin embargo, existen cuchillos de hoja bastante homogénea como el de la estructura 554 del asentamiento de Can Roqueta II cuya microestructura fina corresponde a hierro medianamente carburado. Tal como se aprecia en su extremo (x1000) la ferrita se alterna con colonias perlíticas de distinto tamaño que se unen formando cadenas (fig.2). En el repertorio mues-

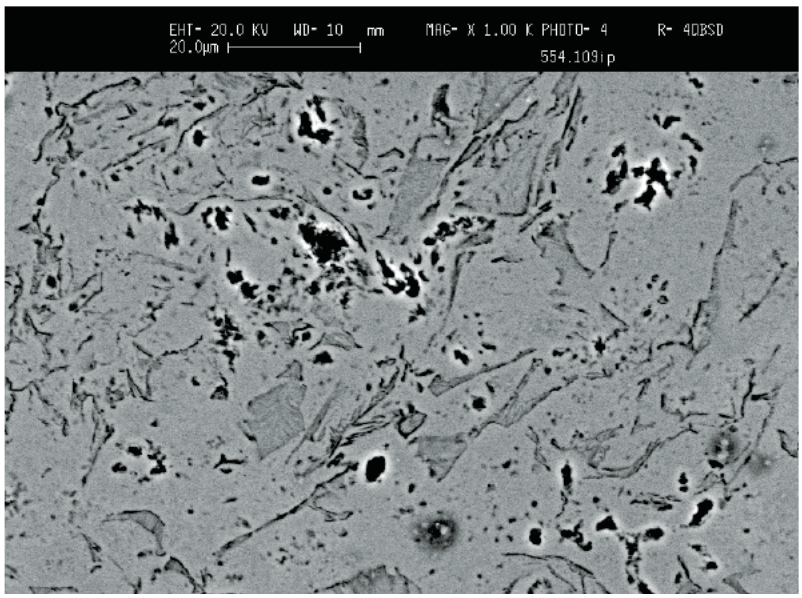


Figura 2. Detalle microestructural del filo de un cuchillo férrico de Can Roqueta II (CR554.109) obtenida por SEM / BSE (x 1000). Ferrita alternada con colonias perlíticas de tamaño y morfología muy variable.

treado, también existen cuchillos con un nivel de carburación más elevado. Es el caso de un ejemplar de la necrópolis de Can Bech de Baix-Agullana (Girona) (fig.3) y de otro de la tumba 1007 de Can Piteu-Can Roqueta (fig.4). Otro bien distinto es el de la tumba 35 de la necrópolis de La Pedrera (Lleida), puesto que su punta muestra las características de un metal de baja calidad, con poros y fisuras, muy alterado por la corrosión. Sus colonias perlíticas son tan esporádicas y poco desarrolladas que debe considerarse hierro dulce (C<0,002%), es decir, muy dúctil (fig.5). En cambio la zona del dorso presenta un nivel de carburación superior y una microestructura donde los carburos se combinan con formaciones de ferrita acicular tipo widmanstätten (fig.6), por lo que paradójicamente su dureza es mayor que la del filo.

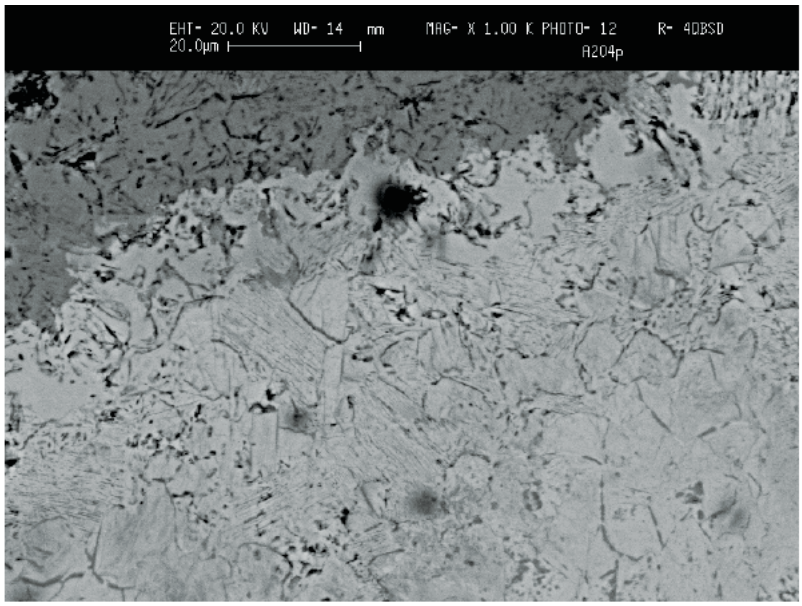


Figura 3. Detalle microestructural del filo acerado de un cuchillo de Can Bech de Baix - Agullana obtenida por SEM / BSE (x 1000). Granos de ferrita, a menudo maclados, alternados con abundantes colonias perlíticas de tamaño y morfología variable. También se identifican carburos globulares.

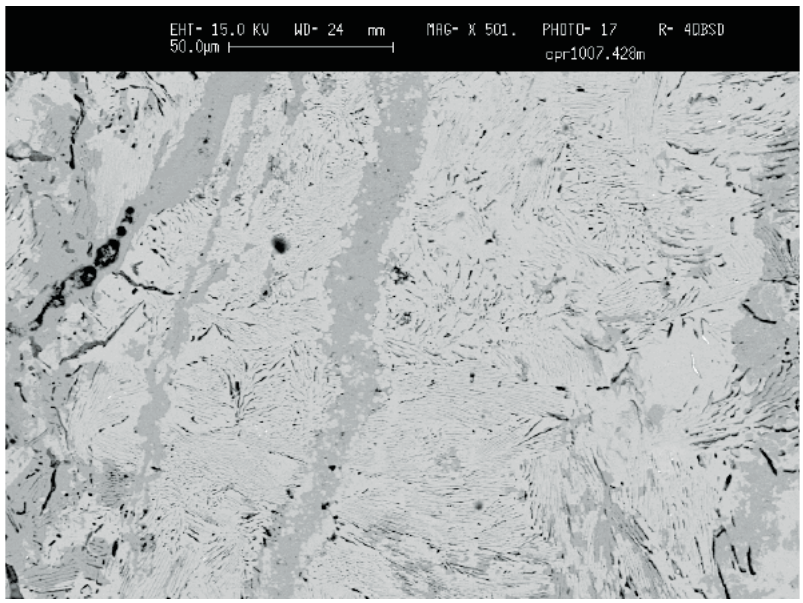


Figura 4. Imagen metalográfica de detalle de la hoja (zona media) de un cuchillo férrico de de Can Piteu-Can Roqueta (CPR1007.428) obtenida por SEM / BSE (x 501), donde predominan los carburos en forma de colonias perlíticas bien desarrolladas.

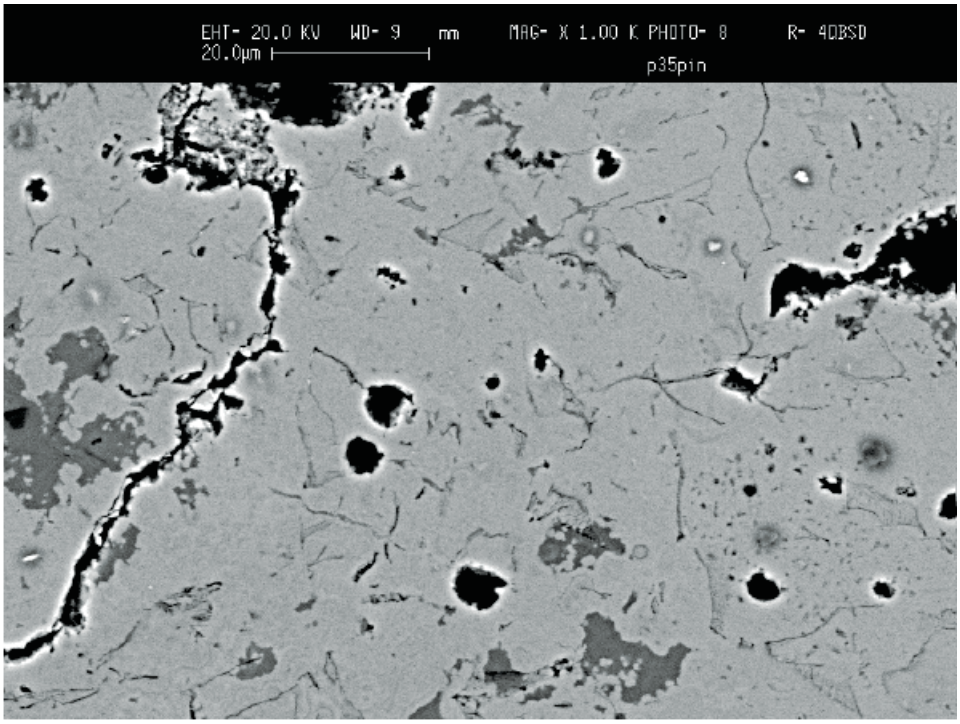


Figura 5. Imagen metalográfica de detalle del filo de un cuchillo férrico de La Pedrera (tumba 35) obtenida por SEM / BSE (x 1000). Hierro dulce: microestructura ferrítico-perlítica muy pobre en carburos.

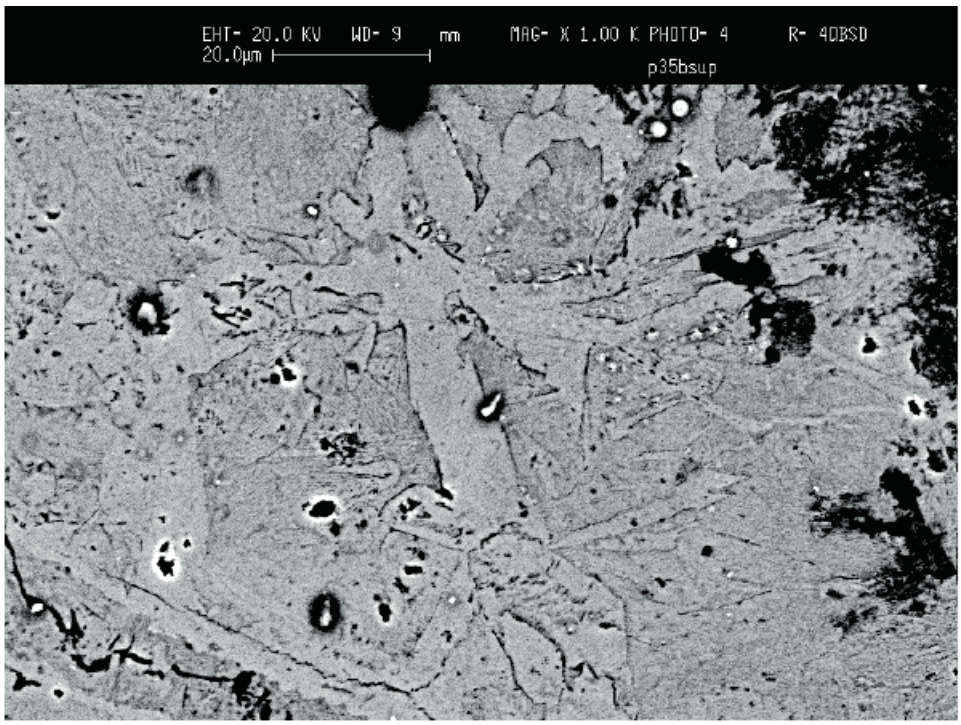


Figura 6. Detalle microestructural del dorso de la pieza de la Pedrera obtenido por SEM / BSE (x 1000). La ferrita acicular (formaciones de widmanstätten) denota que esta zona del cuchillo ha sido sometida a un tratamiento térmico (calentamiento seguido de enfriamiento lento).

Elementos ornamentales con apéndices globulares

En la producción de fíbulas de resorte bilateral y serpentiformes resultaban esenciales técnicas como la torsión de hilos férricos. Además, las piezas serpentiformes se singularizan por presentar un pie elevado rematado por un apéndice globular. En los ejemplares cuyas secciones longitudinales completas hemos tenido ocasión de metalografiar, se ha documentado que están hechos con dos hemiesferas huecas de finísima chapa de hierro poco carburado, contrapuestas entre sí, de aproximadamente 15 mm de diámetro. Pequeñas suturas de cobre refuerzan la zona de contacto entre ellas por la cara interna. Además, estos apéndices se sujetan al resto del objeto por un eje axial que puede fijarse también con cobre. Es el caso de un ejemplar fragmentado de la tumba 15 de de Can Piteu-Can Roqueta (Barcelona) (Rovira, 2007: 172), cuyo ajuar cerámico era uno de los más numerosos de la necrópolis y de otro, hallado en un relleno del cercano asentamiento de Can Gambús 2. De este último (inédito), también prácticamente sólo se había conservado el remate, del cual podemos apreciar una imagen metalográfica y el resultado del análisis de composición por EDS de uno de los depósitos cúpricos (figs.7 y 8).

La misma técnica de elaboración se repite en uno de los colgantes de la tumba 8 de Anglés (Girona). Este conjunto funerario de la segunda mitad del s.VII a.C. destaca por la presencia de vajilla de bronce (un brasero y un *simpulum)* considerada de importación (Pons, 1984: 201-202, 223) junto a la urna acanalada, mientras que la cadena formada por anillas de hierro y pequeños colgantes globulares resulta excepcional en el conjunto de materiales metálicos de la primera edad del hierro catalanes. El corte longitudinal que hemos realizado a una de ellas, permite ahora observar su forma esférica, ligeramente achatada, hueca y que no se trata de piezas de bronce como se habían considerado hasta ahora. Se elaboró con una chapa férrica finísima y está atravesada por un vástago que en el exterior adquiere forma de enganche (fig. 9). Los paralelismos morfológicos existentes, pues entre ciertas piezas ornamentales (fíbulas y colgantes) rematadas por esferas quedan confirmados así también a nivel tecnológico.

Figura 7. Apéndice globular bimetálico de una fíbula serpentiforme de Can Gambús (E-336) visto en sección en SEM / BSE (x 6). Pieza férrica hueca con un eje central parcialmente conservado. A ambos lados (en las zonas de unión entre los casquetes hemisféricos) y junto al eje central se conservan pequeños depósitos cúpricos de tonalidad clara.

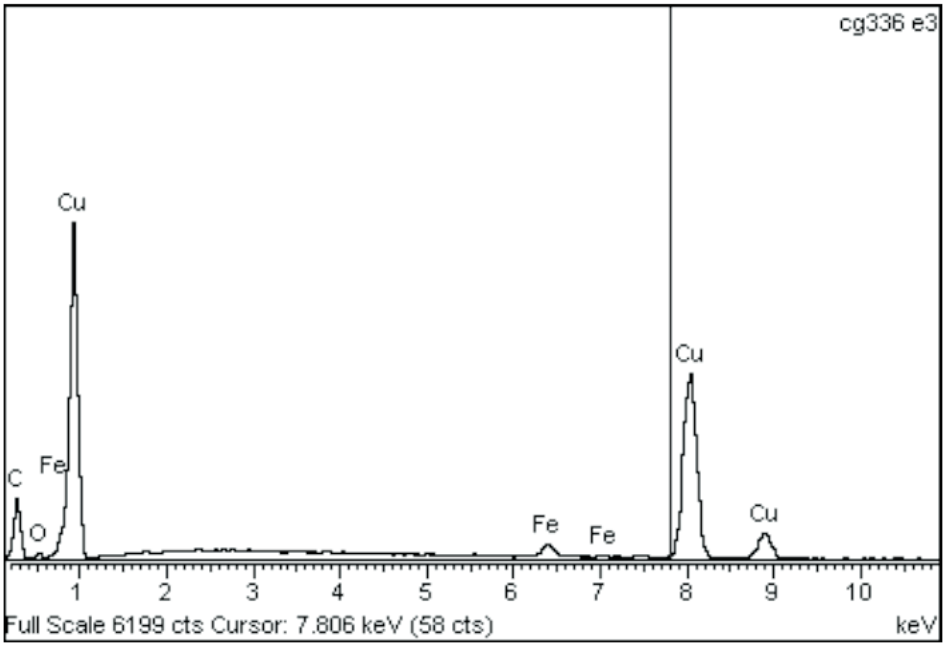


Figura 8. Espectro de composición del depósito cúprico (zona más densa) ubicado junto al eje central del apéndice de Can Gambús.

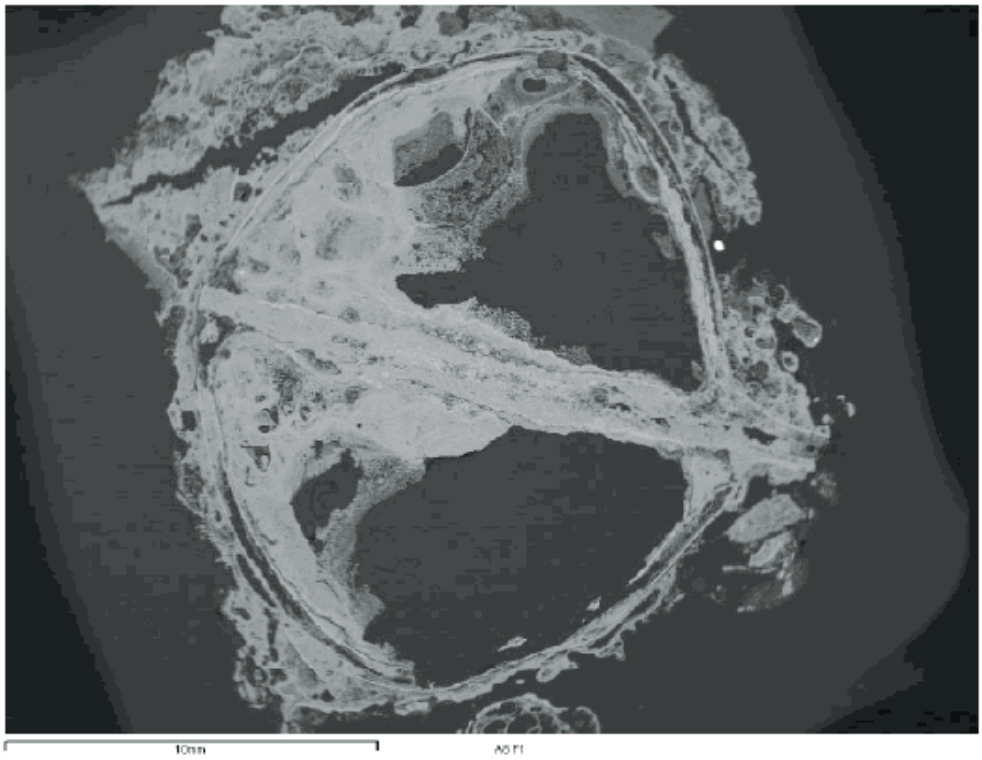


Figura 9. Corte longitudinal de un colgante globular de Anglés (tumba 8) observado en SEM/BSE (5 x). Se aprecian su forma esférica, ligeramente achatada, hueca y el escaso grosor de sus paredes, así como la gran mineralización que sufre. El vástago central sobresale por uno de los extremos.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo tratamos cuestiones relacionadas con los primeros hierros del NE peninsular fechados genéricamente entre el s.VII y el primer cuarto del VI a.C., aportando datos arqueometalúrgicos, indispensables para completar el conocimiento tradicional sobre estos materiales, basado en consideraciones tipológicas. En nuestro caso, los resultados de los exámenes macroestructurales y microestructurales mediante lupa binocular y fundamentalmente las metalografias obtenidas con el microscopio electrónico de barrido dotado de microanálisis (SEM-EDS) son aún preliminares, puesto que el volumen de material disponible es limitado y su estado, por lo general, muy deficiente. En una segunda fase de trabajo esperamos ampliar el muestreo y completar el tipo de exámenes, así como comparar los resultados con los de materiales similares localizados en otras regiones.

En general, la calidad de estas primeras manufacturas siderúrgicas es desigual. Los cuchillos se elaboraban plegando láminas de metal sobre sí mismas que luego se sometían a un proceso de autosoldadura que no se completaba totalmente, salvo en el filo y la punta de la hoja. La mayoría de piezas son muy heterogéneas microestructuralmente, es decir, están desigualmente carburadas y puede que la zona funcional sea de hierro dulce a diferencia del resto. En cambio en otros casos podemos considerar que se trata de aceros con contenidos bajos o medios en carbono, predominando las estructuras ferrítico-perlíticas hipoeutectoides. Los tratamientos térmicos se han detectado puntualmente y aunque la aplicación del temple, identificada anteriormente en un ejemplo de la necrópolis del Pla de la Bruguera (Barcelona) (Montero *et al.,* 1998: 104), no tiene paralelos en las piezas estudiadas ahora, la presencia esporádica de formaciones tipo *widmanstätten* indica que ciertas piezas pudieron someterse a calentamientos seguidos de enfriamientos que no fueron lo bastante rápidos como para conseguir los beneficios del temple en cuanto a dureza. En estos casos, así como cuando se detecta descarburación superficial (Rovira, 2007: 172, fig.5), hay que tener en cuenta posibles alteraciones del material derivadas del ritual incinerador.

El procedimiento de elaboración de estas piezas contrasta con el de otros elementos ligeros, como los bocados de caballo y los ornamentos. Ambos grupos, a pesar de su distinta funcionalidad, se elaboraban con vástagos de sección circular de poco grosor (normalmente inferior a 1 cm de diámetro). Esta característica permitiría darles forma mediante torsión y doblado así como convertirlos en hilo más delgado que también se doblaba, enrollaba, o se aplanaba para conseguir formas complejas sin demasiada dificultad. Así lo constatamos en fíbulas serpentiformes que exhiben arcos y resortes compuestos por múltiples bucles, hechos de hierro dúctil. Gracias a los estudios arqueometalúrgicos también hemos observado que los apéndices globulares, huecos, que muestran estos ornamentos en sus extremos, se elaboraron con finísima chapa de hierro dulce o escasamente carburado y las uniones entre las distintas partes se afianzaron con pequeños depósitos de cobre, ubicados en el interior de las esferas. Se recurrió así al bimetalismo no como solución estética sinó práctica, pues no se trata de recubrimientos metálicos decorativos como podría pensarse al observar los residuos de cloruros que suelen emerger de modo esporádico hasta la superfície de las esferas, sinó de un uso consciente e ingenioso del cobre para constituir objetos estéticamente sofisticados, en trabajos siderúrgicos que evocan la delicadeza de producciones de orfebrería.

BIBLIOGRAFÍA

CARLÚS, X.; LARA, C.; LÓPEZ CACHERO, J.; OLIVA, M.; PALOMO, A.; RODRÍGUEZ, A.; TERRATS, N. y VILLENA, N. 2007: *Cabanes, sitges i tombes. El paratge de Can Roqueta (Sabadell, Vallès occidental) del 1300 al 500 AC.* Quaderns d'Arqueologia 4. Museu d'Historia de Sabadell. Sabadell.

LÓPEZ CACHERO, J. 2005: *La necrópolis de Can Piteu – Can Roqueta (Sabadell) en el contexto del Bronce Final y la Primera Edad del Hierro en el Vallés: estudio de los materiales cerámicos:* Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. http://www.tesisenxarxa.net.

LÓPEZ CACHERO, J.; ROVIRA, M.C.; CARLÚS, X.; LARA, C. y VILLENA, N. (en prensa): "Nouvelles donnés concernant la transition entre le Bronze Final et le Premier Age du Fer en Catalogne côtière: la nécropole à incineration de Can Piteu–Can Roqueta (Barcelone, Espagne)". *Actes du XXX Colloque International de l'Association Française pour l'Étude de l'Age du Fer (AFEAF),* Saint Romain-en-Gal/Vienne, 20-23/5/2006.

MARLASCA, R.; ROVIRA, M.C.; CARLÚS, X.; LÓPEZ CACHERO, J. y VILLENA, N. 2005: "Materiales de importación en la necrópolis de Can Piteu – Can Roqueta (sabadell, Barcelona)". En S. Celestino y J. Jiménez (dir.). *El periodo orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: protohistoria del Mediterráneo Occidental (Mérida 5- 8/5/2003). Anejos del Archivo Español de Arqueología* XXXV: 1039-1049.

MONTERO, I.; GÓMEZ, P. y ROVIRA, S. 1998: "Estudi analític d'alguns materials metàl·lics de la necròpoli del Pla de la Bruguera". En X. Clop, J.M. Faura, J.M., Gangonells, M. Molist, M. C. Navarro: *El Pla de la Bruguera. Centre de distribució SONY. Una necròpoli d'incineració de la Primera Edat del Ferro a Castellar del Vallès (Castellar del Vallès, Vallès Occidental).* Excavacions Arqueológiques a Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona: 101-104.

PALOL, P. 1958: *La necrópolis hallstáttica de Agullana (Gerona).* Biblioteca Praehistòrica Hispánica I. Madrid.

PLENS, M. y RAFEL, N. 2002: "La necròpoli de La Pedrera (Vallfogona - Térmens)". En: J.LL. Ribes (coord.). *Sala d'Arqueologia.* Quaderns de la Sala d'Arqueologia *2.* I.E.I. Lleida: 255-256.

PONS, E. 1984: *L'Empordà de l'Edat del Bronze a l'Edat del ferro.* Monografies del CIAG 1. Girona.

ROVIRA, M.C. 1998: "Les premiers objets en fer en Catalogne (VIIe-VIe s.av.n.è.)". En M. Feugère, M. SERNEELS, V. (dir.). *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale.* Monographies Instrumentum 4. Eds. M. Mergoil. Lattes: 45-55.

ROVIRA, M.C. 2007: "Producción e intercmbio de los primeros objetos de hierro del nordeste de la Península Ibérica". *Actes XXVIIIe colloque AFEAF L'Économie du fer protohistorique: de la production à la consommation.*Toulouse, 20-23/05/2004. Supplément Aquitania 14/2 (2007): 167-175.

RUIZ ZAPATERO, G. 1985: *Los Campos de Urnas del NE. de la Península Ibérica.* Universidad Complutense. Madrid.

ACTIVIDADES METALÚRGICAS EN AMPURIAS (L´ESCALA, GIRONA, ESPAÑA)

METALLURGICAL ACTIVITIES IN AMPURIAS (L´ESCALA, GIRONA, SPAIN)

MARTINA RENZI[1], IGNACIO MONTERO-RUIZ[1], SALVADOR ROVIRA-LLORENS[2], MARC GENER[1], CARMEN ROVIRA-HORTALÀ[3], MARK HUNT[4], PERE CASTANYER[5], MARTA SANTOS-RETOLAZA[5]

(1) Instituto de Historia, CSIC. C/Albasanz 26-28. 28037 Madrid.
(2) Museo Arqueológico Nacional. Serrano, 13. 28001 Madrid.
(3) Museu d'Arqueologia de Catalunya-Barcelona. Passeig de Santa Madrona, 39-41. Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona.
(4) Universidad de Sevilla. María de Padilla s/n. 41004 Sevilla.
(5) Museu d'Arqueologia de Catalunya-Empuries. 17130 Empúries. L'Escala.

RESUMEN

Ampurias era una colonia griega fundada por los focenses en la primera mitad del siglo VI a.C. y que, a lo largo de los siglos, jugó un importante papel dentro de las dinámicas comerciales marítimas entre colonos e indígenas, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de la cultura ibérica. En este yacimiento se han recogido varios restos arqueometalúrgicos, entre los cuales se ha seleccionado una serie de muestras que incluye algunas escorias, fragmentos de masas metálicas en bruto y de un lingote, un bebedero de molde y dos fragmentos de copelas. Con el objetivo de aclarar qué tipo de actividades metalúrgicas se estaban llevando a cabo en Ampurias, se ha efectuado un estudio analítico exhaustivo empleando varias técnicas de laboratorio, como la Espectrometría por Fluorescencia de Rayos X, la Microscopía Óptica y la Microscopía Electrónica de Barrido.

ABSTRACT

Emporion was a Greek colony founded in the first half of the VI century B.C. by Phocian navigators. It played an important role in the maritime trade between settlers and natives during the following centuries and is a key site to understand the development of the Iberian Culture. This site has yielded abundant archaeometallurgical material from which a series of samples has been selected. The samples include some slags, fragments of raw metallic lumps and of an ingot, a cope mould and two fragments of cupels. In order to determine the metallurgical activities carried out at Ampurias, an exhaustive analytic study was performed employing different laboratory techniques, such as X-ray Fluorescence Spectroscopy, Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy.

Palabras clave: Ampurias, Colonia griega, metalurgia prerromana, Cobre, Bronce, Plomo, Copelas, Análisis SEM, XRF, Metalografía.

Key words: *Key words: Ampurias, Greek colony, prerroman metallurgy, Copper, Bronze, Lead, Cupels, SEM analyses, XRF, Metallography.*

INTRODUCCIÓN

Emporion fue una colonia griega fundada en la primera mitad del siglo VI a.C. por los foceos. Durante las campañas de excavación arqueológica realizadas en el yacimiento desde principios del siglo XX hasta 1936 por parte de D. Emili Gandia, bajo la dirección de Josep Puig i Cadafalch y, en la última etapa, de Pere Bosch Gimpera, (Mar y Ruiz de Arbulo, 1993: 58 ss.), se recogió un registro muy importante de materiales procedentes de la Neápolis. Entre ellos, cabe mencionar el hallazgo de restos arqueometalúrgicos que documentan una actividad del asentamiento poco conocida hasta la fecha (Castanyer *et al.,* 2008). Aunque sea un conjunto exiguo, estos materiales son prueba de la existencia de algún taller o talleres metalúrgicos, de los que no podemos valorar si funcionaban para cubrir una demanda interna, como parece sugerir la falta de claras estructuras de combustión vinculadas con la producción de metales, o si eran talleres especializados de mayor producción, como en el caso del área excavada en el parking y de cronología más tardía —siglos II-I a.C.— (Sanmartí *et al.,* 1983-84).

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio de los restos arqueometalúrgicos encontrados en la Neápolis, se ha efectuado una selección de muestras que incluye: dos escorias de cobre (PA12416, PA12419), un fragmento de lingote de cobre (PA12521), dos fragmentos de masas metálicas en bruto (PA12412, PA12523), dos fragmentos de copela (PA12374, PA12375) y un bebedero de molde (PA12760) correspondiente a una tipología hasta ahora desconocida. Estos restos han sido objeto de análisis empleando varias técnicas de laboratorio, como la Espectrometría por Fluorescencia de Rayos X, el Microscopio Óptico y el Microscopio Electrónico de Barrido. También se han realizado análisis de isótopos de plomo de algunos de estos objetos con el fin de conocer su procedencia, cuyos resultados pueden consultarse en Montero *et al.* (2008).

Para los análisis por fluorescencia se ha utilizado el Espectrómetro Metorex XMet 920 del Museo Arqueológico Nacional de Madrid, dotado con detector de Si(Li) y fuente de Americio 241. Los tiempos de adquisición se fijaron en 300 Sg y los valores cuantitativos —expresados en % en peso (Tabla 1)— fueron calculados a partir de patrones certificados. El Microscopio Óptico empleado es un Leica DMLM del Instituto de Historia del CSIC, mientras los análisis SEM se han efectuado con un Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental FEI Quanta 200 del Museo de Ciencias Naturales del CSIC de Madrid. Este microscopio dispone de un sistema de análisis integrado Oxford Instruments Analytical-Inca con dos detectores de rayos X que se pueden usar simultánea y alternativamente.

Se han extraído muestras para observación en el microscopio óptico y metalográfico mediante sierra de disco de diamante para obtener un corte limpio. Esas muestras han sido luego montadas individualmente en tacos de resina bicomponente de fraguado rápido, lijadas y pulidas por el método comúnmente empleado en las preparaciones metalográficas. Los análisis que definimos globales se han efectuado en el SEM barriendo una ventana representativa, generalmente a 100x.

MATERIALES ANALIZADOS

Inicialmente, se realizaron análisis XRF-ED de las distintas muestras estudiadas para identificar los elementos presentes y contar con una primera aproximación al material objeto de estudio (Tabla 1). Posteriormente, se procedió a un análisis más detallado de las diferentes estructuras y fases de escoria y metal mediante microscopía electrónica de barrido.

Muestra	Tipo	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi
PA12416	Escoria	11.12	85.0	nd	nd	nd	0.64	0.144	3.09	nd
PA12419	Escoria	36.52	55.2	nd	nd	nd	0.98	0.245	7.09	nd
PA12521	Lingote de fundición	nd	99.0	nd	nd	0.046	nd	0.033	0.94	nd
PA12412	Resto de fundición	nd	22.2	nd	nd	nd	3.64	0.27	73.9	nd
PA12412	Resto de fundición	0.55	19.9	0.31	nd	0.002	2.64	0.182	76.4	nd
PA12523	Lingote	0.88	26.0	nd	nd	0.019	20.1	0.063	52.9	nd
PA12374	Litargirio (sección)	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	nd	99.9	nd
PA12374B	Litargirio (cara interna)	nd	nd		nd	0.04	nd	nd	99.9	nd
PA12375A	Litargirio (sección)	nd	nd	nd	nd	0.02	nd	0.02	99.9	nd
PA12375C	Litargirio (zona interna)	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	nd	99.9	nd
PA12760	Molde	34.0	24.0	nd	nd	nd	0.31	0.058	41.7	nd

Tabla 1. Análisis XRF-ED de las muestras de Ampurias (% en peso; nd = no detectado).

Escorias de cobre

Los fragmentos de escoria analizados (PA12416, PA12419) son dos pequeños nódulos de aspecto irregular, que presentan adherencias terrosas y eflorescencias de sales de cobre en la superficie. Tanto desde un punto de vista morfológico como composicional, ambas muestras tienen unas características similares (Fig. 1a, 1b).

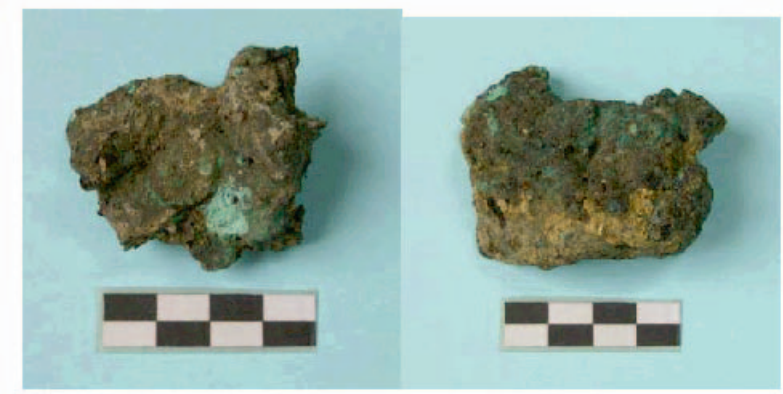


Figura 1. a) Escoria de cobre PA12416. b) Escoria de cobre PA12419.

La matriz de estas escorias (Tabla 2) es un vidrio rico en hierro con algo de cobalto, en el que se ha concentrado magnetita tabular y en forma de dendritas muy bien desarrolladas (Fig. 2). En ambas muestras se ha detectado la presencia de inclusiones metálicas atrapadas en la escoria con una composición parecida, de aproximadamente un 95% Cu, un 3% Fe y un 1% Co. Además, en una de las muestras se ha detectado una zona con muchos granos de sílice parcialmente disueltos (Fig. 3).

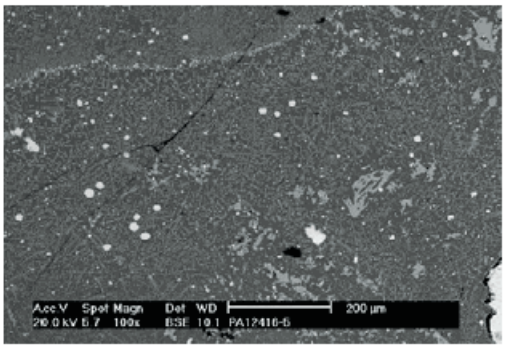


Figura 2. PA12416. Matriz vítrea con magnetita dendrítica y tabular. Imagen SEM, BSE

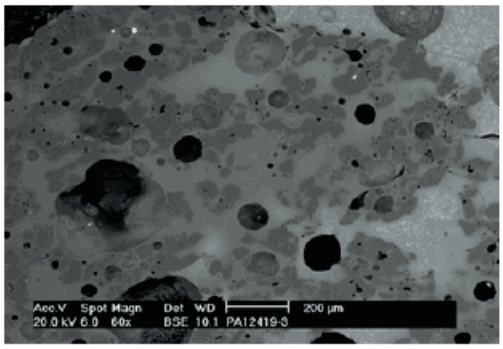


Figura 3. PA12419. Granos de sílice parcialmente disueltos. Imagen SEM, BSE

Análisis	Fase	Otros elem.	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	TiO_2	CaO	MnO	FeO	CuO	PbO
PA12416/1	Matriz	CoO 3.25%	4.44	11.4	47.3	1	nd	12.7	nd	19.8	nd	nd
PA12416/2	Análisis global	CoO 4.57%	2.8	10	40.9	1.58	nd	7.76	nd	25.7	6.59	nd
PA12419/3	Matriz fundida	CoO 3.1%	4.33	9.32	55	1.51	0.69	8.25	1.77	14.7	1.36	nd
PA12419/4	Sílice libre		nd	nd	100	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PA12419/5	Zona gris clara en fundido		1.62	18.8	70.5	1.5	nd	nd	nd	5.86	1.67	nd

Tabla 2. Resultados SEM-EDX de las escorias de cobre, análisis globales a 100x (% en peso, como óxidos; nd = no detectado)

Los porcentajes bastante elevados de cobalto detectados en estas escorias —un elemento presente en algunos minerales cupríferos— sugieren que se trate de escorias de producción primaria de cobre, o sea de escorias de reducción. Además, no es habitual encontrar cantidades significativas de cobalto en los objetos de metal, un hecho que nos confirma que no podría tratarse de nódulos de escoria de reciclado. Esta hipótesis parece también sustentada por la presencia de cristales de sulfuro de cobre en la escoria y por el alto contenido de hierro presente en las inclusiones metálicas analizadas, que podría derivar del mineral original.

Lingote y masas metálicas de base cobre

El fragmento de lingote de cobre (PA12521) es parte de una torta de mayor tamaño, probablemente de sección plano-convexa, como parecen sugerir la forma redondeada de uno de los lados de la muestra y el fondo convexo (Fig. 4).

El núcleo metálico conservado es bastante reducido a causa de un avanzado proceso de corrosión que ha transformado la zona externa de la pieza en una espesa capa de cloruros. La composición de la matriz también muestra presencia de cloro y de abundantes óxidos, elementos que indican una penetración del proceso de corrosión hacia el interior del fragmento (Fig. 5). Desde un punto de vista metalográfico, la muestra presenta una estructura con bordes de granos rectilíneos, como cabe esperar en un metal que se ha ido enfriando lentamente en una lingotera (Fig. 6).

Figura 4. Fragmento de lingote de cobre PA12521.

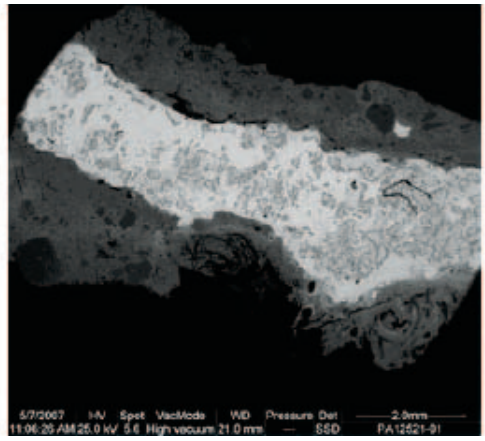


Figura 5. Vista general de la muestra PA12521. Imagen SEM, BSE.

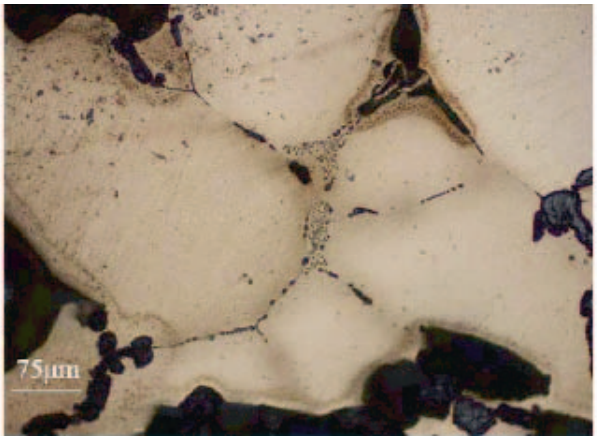


Figura 6. PA12521. Detalle de la microestructura del lingote. Metalografía. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico.

Las dos masas metálicas también parecen haber formado, como en el caso del lingote, parte de un material de mayores dimensiones.

La muestra PA12412 es un pequeño fragmento de forma irregular, con oxidaciones cobrizas en su superficie (Fig. 7). Presenta una matriz compuesta por plomo, en la que se han detectado abundantes segregados de un bronce muy rico en estaño, que llega a alcanzar casi el 30% Sn (Fig. 8). Su análisis global da una composición de aproximadamente un 25% Cu, un 10% Sn y 65% Pb.

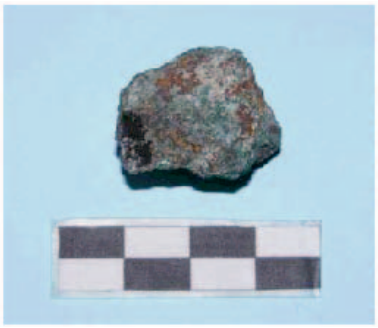


Figura 7. Masa metálica PA12412.

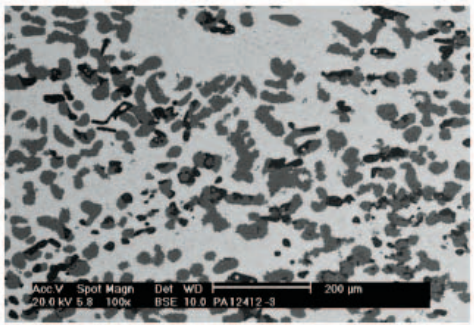


Figura 8. PA12412. Matriz de plomo con segregados de bronce. Imagen SEM, BSE.

Definir el proceso en el que se ha formado este material resulta imposible. No existen elementos suficientes para suponer que sea el resultado de un proceso para la obtención de bronce por co-reducción de minerales, por cementación o para afirmar que sea el producto de una operación de reciclaje de metal. Además, los segregados de bronce presentes en la muestra tienen una composición que no corresponde a la habitual en los bronces de la época. Por el momento, aunque el proceso de formación de este material no resulte claro, los datos remiten a una metalurgia compleja de bronces ternarios.

El segundo fragmento de masa metálica (PA12523) presenta una forma aplanada de tendencia triangular y su superficie es irregular, cubierta por una fina capa de adherencias terrosas (Fig. 9). La estructura y la composición de esta pieza resultan muy complejas, debido a la heterogeneidad del material que lo constituye. En la macrografía de la muestra cortada (Fig. 10a) y en la imagen obtenida en el SEM (Fig. 10b), se aprecia claramente que hay una zona de transición entre dos metales yuxtapuestos de distinta naturaleza.

Figura 9. Masa metálica PA12523.

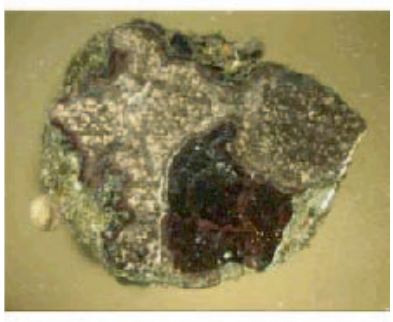


Figura 10a. Macrografía de la muestra PA12523 montada en resina. 50x

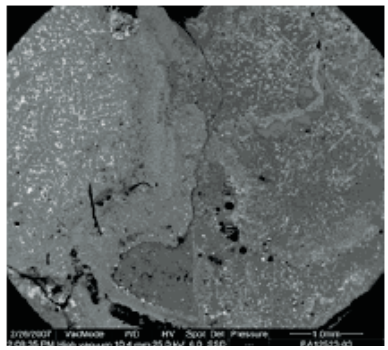


Figura 10b. Vista general de la muestra PA12523. Imagen SEM, BSE

La región izquierda de la muestra presenta un material bastante homogéneo, envuelto por una capa externa de incrustaciones arcillosas y de óxidos. En la zona derecha se distingue un material en avanzado estado de oxidación, englobado en un material de color más oscuro que el de la zona izquierda anteriormente descrita. No se ha detectado estaño metálico en la muestra, probablemente a causa de las condiciones oxidantes en las que se estaba operando. Además, en la zona de transición entre los dos metales y en la zona de oxidación, se aprecia un enriquecimiento en agujas de casiterita formadas como efecto secundario de esta oxidación (Fig. 11).

El análisis global de la parte izquierda del fragmento muestra la composición de un bronce plomado pobre en estaño (2% Sn) y con aproximadamente un 10% Pb. Como se observa en la Fig. 12, el plomo se encuentra casi enteramente segregado en la matriz de bronce.

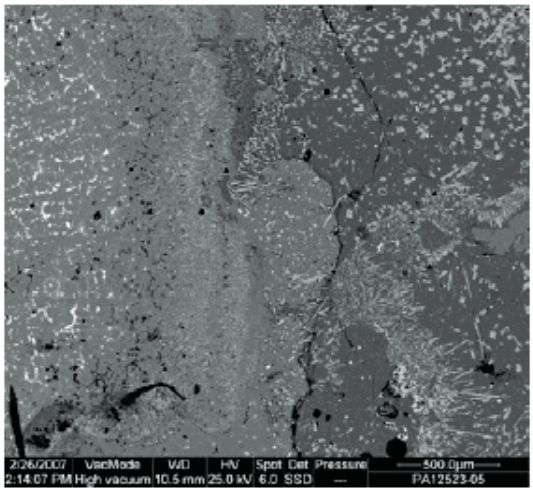


Figura 11. PA12523. Enriquecimiento en agujas de casiterita en la zona de frontera entre los dos distintos materiales que componen la muestra. Imagen SEM, BSE.

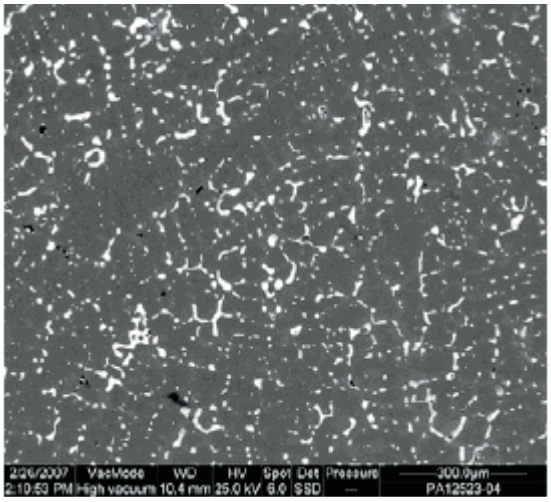


Figura 12. PA12523. Segregados de plomo en la matriz de bronce. Imagen SEM, BSE.

Por el contrario, la composición global de la zona derecha de la muestra presenta una matriz de oxido de cobre con escasa presencia de plomo (en torno al 1% Pb) y con una elevada cantidad de estaño (aproximadamente un 25% Sn) que se encuentra todo oxidado en forma de agujas segregadas. El examen en el SEM muestra que la parte oxidada es más extensa de lo que se aprecia en la macrografía, ya que el proceso de oxidación ha afectado prácticamente a toda la región derecha de la muestra; por tanto los resultados del análisis cuantitativo global no deben ser considerados representativos de una aleación metálica.

El estudio metalográfico muestra que el material rico en plomo tiene una microestructura dendrítica de fundición (Fig. 13), pero en la zona de frontera entre los dos materiales se produce una transformación de esta estructura dendrítica hacia granos reticulares, por efecto de un calentamiento de la masa sólida rica en plomo. Parecen haberse producido fases de calentamiento-enfriamiento en tiempos cortos y dentro de un margen relativamente estrecho de temperaturas, propiciando y deteniendo cambios de estado en regiones localizadas del material. Estas condiciones variables han dado lugar a las distintas microestructuras observadas (Fig. 14) que corresponden al final de la operación, hechos todos que sugieren que se trate de una metalurgia de crisol, más proclive a cambios térmicos significativos en tiempos cortos.

Figura 13. PA12523. Microestructura dendrítica de fundición. Metalografía. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico.

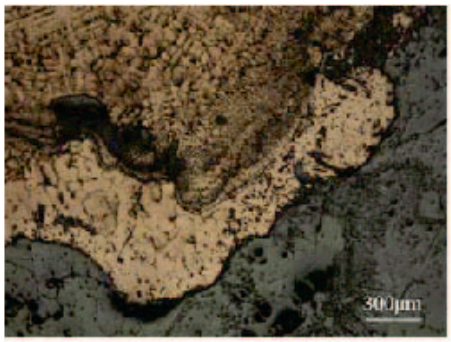


Figura 14. PA12523. Transformación de la estructura dendrítica hacia granos reticulares. Metalografía. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico.

La formación de una capa rica en casiterita acicular en la superficie del material plomado no puede ser debida a la migración hacia el exterior del estaño oxidado del núcleo metálico en cuya composición, como indican los análisis del metal sano, apenas se ha detectado estaño. Esta concentración de casiterita podría estar indicando el fracaso de un proceso de cementación de este metal plomado con un material rico en estaño, encaminado a la obtención de un bronce ternario. Se trataría, pues, de una cementación que no ha podido completarse a causa de unas condiciones demasiado oxidantes en el medio que, a su vez, no han permitido que se llegara a formar un bronce ternario más o menos homogéneo.

Para explicar la formación de una masa metálica con una estructura y una composición tan complejas como las de la muestra objeto de estudio, se ha considerado también la opción de que este material fuera

ANÁLISIS	OBJETO	FASE	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Fe	Co	Ni	Cu	Sn	Pb
PA12412/1	Masa de metal	Inclusiones sulfuro	nd	nd	nd	nd	nd	21.6	nd	nd	nd	nd	nd	78.4	nd	nd
PA12412/2	Masa de metal	Bronce	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.81	68.4	29.7	nd
PA12412/3	Masa de metal	Matriz en bronce	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.9	73.6	25.5	nd
PA12412/4	Masa de metal	Análisis global	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.61	24.7	9.9	64.8
PA12521/2	Fragmento de lingote	Zona de corrosión	15.89	nd	2.25	nd	nd	nd	26.73	nd	nd	nd	nd	55.14	nd	nd
PA12521/3	Fragmento de lingote	Faja externa de corrosión	28.43	0.57	1.35	11.16	1.16	nd	8.23	1.75	0.49	nd	nd	46.87	nd	nd
PA12521/4	Fragmento de lingote	Análisis global	21.12	nd	1.97	0.45	nd	nd	1.62	nd	nd	nd	nd	74.84	nd	nd
PA12523/1	Masa de metal	Inclusión blanca	14.4	nd	1.42	8.81	nd	nd	nd	0.35	1.54	nd	nd	8.52	nd	64.95
PA12523/2	Masa de metal	Inclusión blanca	12.17	nd	1.37	9.02	nd	nd	nd	0.72	1.33	nd	nd	8.21	nd	66.72
PA12523/3	Masa de metal	Inclusión blanca	11.27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7.91	nd	80.82
PA12523/4	Masa de metal	Análisis global	3.48	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	82.44	3.25	10.82
PA12523/5	Masa de metal	Matriz en zona con mucho Pb	2.33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	94.61	1.63	1.42
PA12523/6	Masa de metal	Matriz en zona con mucho Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	97.13	2.87	nd
PA12523/7	Masa de metal	Inclusión blanca	10.65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	16.33	nd	73.01
PA12523/8	Masa de metal	Matriz en zona con mucho Sn	8.38	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	91.62	nd	nd
PA12523/9	Masa de metal	Inclusión blanca	11.11	0.47	0.83	4.7	nd	nd	nd	0.81	1.08	nd	nd	9.67	nd	71.33
PA12523/10	Masa de metal	Análisis global en zona con mucho Sn	13.85	nd	1.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	59.6	24.22	1.27
PA12523/11	Masa de metal	Análisis global en zona con mucho Pb	3.15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	84.51	2.66	9.68

Tabla 3. Análisis SEM-EDX de las masas metálicas (% en peso, como elementos; nd = no detectado).

el resultado de una operación de reciclaje de metal, en la que se estarían fundiendo metales de composiciones muy distintas, en las condiciones oxidantes propias de la refundición en un crisol. Pero no hay argumentos válidos para sustentar esta hipótesis, ya que metales con contenidos tan altos de estaño como los observados, corresponderían a unas aleaciones nada frecuentes en este contexto, tanto cronológico como geográfico (Rovira, 1993).

Aunque lo que sí podríamos afirmar con seguridad es que esta masa metálica es un material bruto que requeriría una tercera nueva fase de fundición para homogeneizar la aleación. Las dos masas metálicas analizadas podrían por tanto documentar un trabajo previo de taller para la producción de bronces ternarios; es decir, la producción de un metal bruto que se pondría en circulación para ser nuevamente refundido en el mismo u otro taller y obtener una aleación homogénea.

Copelas

Por lo que concierne los dos fragmentos de copela, este material por color, textura, composición y peso se había interpretado en un primer momento como litargirio. De hecho, la distinción entre litargirio y copela resulta problemática desde un punto de vista puramente morfológico, ya que durante el proceso de copelación el óxido de plomo, reaccionando con la sílice de la cerámica, acaba por sustituir los componentes cerámicos de la pared de la vasija.

Figura 15. Fragmento de copela PA12375.

Uno de los dos fragmentos encontrados en Ampurias (PA12375) presentaba una sección estratificada en la que, al cortarla y lijarla, se han podido apreciar unos significativos cambios cromáticos, desde un rojo oscuro hasta un gris blanquecino, que parecen indicar cómo el óxido fue penetrando gradualmente en las paredes de la copela (Fig. 15).

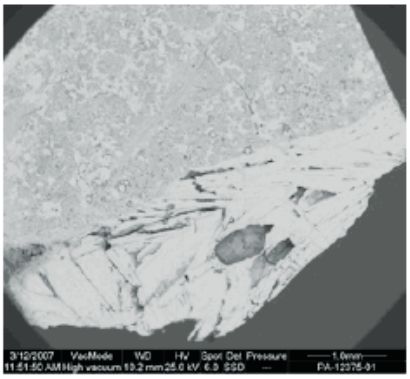


Figura 16. Vista general de la muestra PA12375. Imagen SEM, BSE.

Para determinar la composición elemental de esta copela, se han realizado una serie de análisis globales, abriendo ventanas de 100x en varios puntos a lo largo de la sección de la muestra, desde la parte superior hacia la zona inferior que conservaba todavía una fina capa de cerámica.

En la Tabla 4, donde se recogen los análisis globales efectuados, se puede apreciar cómo la zona superficial interna de la muestra esté casi enteramente constituida por PbO (Fig. 16), siendo el contenido de sílice inferior al 1,5%. Entrando en el interior de la pieza, se empieza a detectar una mayor presencia de los componentes cerámicos.

MUESTRA	Al_2O_3	SiO_2	CaO	FeO	PbO
PA12375-1	nd	1.41	nd	nd	98.59
PA12375-3	nd	8.48	12.81	nd	78.71
PA12375-4	1.81	7.04	12.85	nd	78.30
PA12375-5	2.93	7.78	12.85	nd	76.43
PA12375-6	3.58	8.07	13.31	2.58	72.46

Tabla 4. Resultados SEM-EDX de los análisis globales a 100x (% en peso, como óxidos; nd = no detectado).

Aumenta el contenido de sílice y se detectan aluminio y calcio, cuyos porcentajes también se incrementan a medida que nos vamos acercando a la superficie externa de la copela, donde se ha detectado también la presencia de hierro. De todos modos, parece haberse producido una homogenización entre los componentes cerámicos y el óxido de plomo en las distintas zonas de la vasija, ya que en los varios puntos analizados de la muestra no se ha podido apreciar una significativa diferencia composicional.

Los resultados de los análisis globales realizados en la zona superior e inferior de la otra muestra estudiada, la PA12374, también son coherentes con la composición elemental de una vasija cerámica que haya sido empleada en un proceso de copelación (Tabla 5).

MUESTRA	MgO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	K_2O	PbO
PA12374-1	nd	4.86	12.21	6.63	0.91	75.40
PA12374-2	1.93	4.16	10.99	10.47	nd	72.45

Tabla 5. Resultados SEM-EDX de los análisis globales a 100x (% en peso, como óxidos; nd = no detectado)

Molde

El bebedero de molde (Fig. 17a) es una pieza de especial interés por su tipología desconocida hasta ahora. Presenta un embudo de vertido principal y diferentes canales internos conectados entre ellos, una estructura que sugiere su uso para la producción de una pieza compleja con varios canales alimentadores (Fig. 17b).

Figura 17. a) Bebedero de molde PA12760. Metalografía. b) Detalle de los canales del bebedero de molde PA12760.

Para el estudio analítico de este hallazgo, se ha extraído una muestra (PA12760) de un goterón metálico adherido al interior de la boca del molde. Este fragmento —cuya matriz está compuesta principalmente por plomo y cobre, con trazas de estaño (Tabla 1)— presenta un avanzado estado de oxidación que no ha permitido determinar un análisis cuantitativo global representativo de la composición del metal que se estaba vertiendo para fabricar el objeto. En el análisis metalográfico, se aprecia una espesa costra externa de óxido de hierro que es fruto de la contaminación de las tierras y de la arcilla (Fig. 18). Los restos de metal son escasos, ya que todo el goterón está muy oxidado, con abundantes formaciones de cuprita.

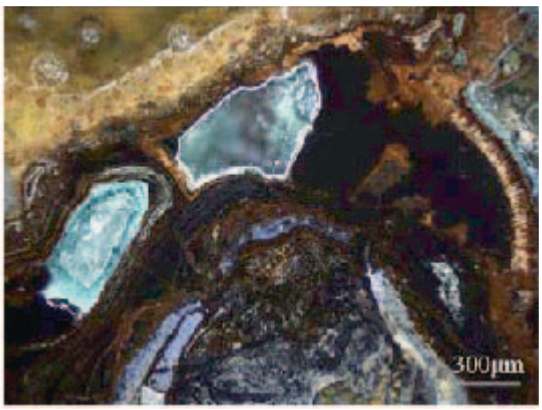


Figura 18. PA12760. Detalle de la costra externa de corrosión formada por un proceso de contaminación de las tierras.

CONCLUSIONES

Aunque escasos en número, los materiales aquí estudiados son prueba de actividades metalúrgicas realizadas en la Neápolis de Emporion. Estos materiales, a los que hay que sumar las toberas que en su momento estudiara Ruiz de Arbulo (1989) y un par de fragmentos de galena también procedente de la Neapolis, van configurando la existencia de talleres de trabajo metalúrgico vinculados especialmente a metales de base cobre, de plomo y/o plata. La intensidad y representatividad de los mismos se nos escapa, sin embargo sí podemos apreciar una actividad que no se ciñe en exclusiva a la manufactura de objetos.

Las escorias de cobre parecen proceder de un proceso de reducción de minerales, lo que implica la llegada a la ciudad de esta materia prima. Por otra parte el lingote de cobre, cuyo análisis de isótopos de plomo muestra una procedencia chipriota (Montero *et al.,* 2008), parece haber llegado ya en forma metálica, al no haberse mezclado con otros metales o minerales peninsulares. Las dos masas metálicas muestran tratamientos metalúrgicos difíciles de entender pero relacionados con aleaciones ternarias (Cu+Sn+Pb) empleadas para la producción de objetos.

Ya sean procesos relacionados con aleación de metales o de refundición —hipótesis poco probable— se estaba intentando lograr un metal de aleación ternaria. Dentro de esta cadena situaríamos también el molde de fundición del que ignoramos la forma que pretendía obtenerse, aunque se trataría sin duda de una pieza compleja por la diversidad de canales de distribución que presenta.

En relación con la metalurgia de la plata podemos señalar los dos fragmentos de copela, que apoyarían la funcionalidad propuesta para las toberas del yacimiento, aunque su presencia no necesariamente documenta una producción de este metal *in situ.* Además, sabemos que el litargirio circuló como producto comercializado en algún momento de este primer milenio a.C., según parece sugerir el caso del pecio fenicio de Mazarrón (Negueruela *et al.,* 2000).

Aunque Emporion realizó emisiones de moneda en plata desde épocas tempranas, todavía no disponemos de evidencias suficientes que aclaren el proceso seguido en la producción de plata para tal fin. Los resultados obtenidos hasta ahora por los análisis de isótopos de plomo de las monedas (Montero *et al.,* 2007 y 2008) muestran una diversidad de procedencias que sugieren la llegada mayoritaria del metal en bruto, sin necesidad de que la copelación fuera una de las tareas principales.

BIBLIOGRAFÍA

CASTANYER, P.; SANTOS, M.; AQUILUÉ, X.; TREMOLEDA, PONS, E.; MARTIN, A.; ROVIRA, C. y MATA, J.M. 2008: “Elaboración y comercio de plata y plomo en la Emporion griega y en los hábitats ibéricos de su entorno”. *Revista de Arqueología de Ponent* 18.

MAR, R. y RUIZ DE ARBULO, J. 1993: *Ampurias romana. Historia, arquitectura y arqueología.* Sabadell.

MONTERO RUIZ, I.; CASTANYER, P.; GENER, M.; HUNT, M.; MATA, J.M.; PONS, E.; ROVIRA-LLORENS, S.; ROVIRA-HORTALÁ, C.; RENZI, M.; SANTOS-RETOLAZA, M. y SANTOS-ZALDUEGUI, J.F. 2007: “Lead and silver metallurgy in Emporion (L´Escala, Girona, Spain)”. *2nd International Conference Archaeometallurgy in Europe. Proceedings (Aquileia, Italy 2007).* Aquileia. CD-ROM

MONTERO RUIZ, I.; GENER, M.; HUNT, M.; RENZI, M. y ROVIRA-LLORENS, S. 2008: “Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña”. *Revista de Arqueología de Ponent* 18: 292-316.

NEGUERUELA, I.; PINEDO, J.; GÓMEZ, M.; MIÑANO, A.; ARELLANO, I. y BARBA, J.S. 2000: “Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia)”. *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz 1995).* Cádiz. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz: 1671-1680.

ROVIRA, S. 1993: "La metalurgia de la Edad del Hierro en la Península Ibérica: una síntesis introductoria". En R. Arana *et al.* (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación.* Murcia: 45-70.

RUIZ DE ARBULO 1989: “Soportes y toberas. Los ejemplares de Emporion”. *Archivo Español de Arqueología* 62: 315-324.

SANMARTÍ, E.; NOLLA, J.M. y AQUILUÉ, X. 1983-84: “Les excavacions de l'àrea del Parking al sud de la Neápolis d'Empúries. (Informe preliminar)”. *Empúries* 45-46: 110-153.

ETRUSCAN GOLD JEWELLERY: GENUINE, RESTORED OR PASTICHE?

JOYAS ETRUSCAS EN ORO: ¿ORIGINAL, RESTAURADO O PASTICHE?

MARIA FILOMENA GUERRA

Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France. UMR 171 CNRS, Palais du Louvre. Porte des Lions. 14, quai François Mitterrand. 75001 Paris, France.

RESUMEN

Non-destructive elemental analysis and examination provide paramount information for authentication of gold jewellery items kept in museum collections with no reference documents. A small group of Etruscan objects from the Campana's collection, assembled in the 19th century, were studied by optical microscopy, SEM, X-radiography, and PIXE in order to establish criteria for the discrimination of genuine objects, pastiches and modern restorations. We could show that: the morphology of wires and granules from ornamental patterns added to enhance the objects separate in some cases modern from ancient parts; the composition of the alloys showed in other cases the different steps of construction of an object.

ABSTRACT

Las técnicas de estudio y de análisis no destructivas aportan información importante para la autentificación de joyas en oro conservadas en colecciones sin contexto de hallazgo o datos sobre la adquisición. Un pequeño grupo de joyas Etruscas, conservadas en la colección Campana reunida en el siglo XIX, fue estudiado y analizado con microscopía binocular, microscopio electrónico de barrido, radiografías y técnica PIXE para discriminar entre los objetos completamente originales y los que han sido total o parcialmente restaurados y manipulados. Los resultados obtenidos muestran que en algunos casos la morfología de las filigranas y de los gránulos de decoración añadidos para modificar la pieza es suficiente para separar las partes antiguas de las partes modernas y que en otros casos las diferencias en la composición de las aleaciones de oro indican los diversos pasos de construcción del objeto.

Key words: gold, jewellery, Etruscan, authentication, analysis, PIXE, radiography, SEM.

Palabras clave: *oro, joya, Etrusco, autentificación, análisis, PIXE, radiografía, MEB.*

INTRODUCTION

The increasing attention given in the 19th century to archaeological objects from ancient civilisations amplified the production of fakes and consequently their number in private collections and museum collections. The exhibition and trade of objects that suffered from burial conditions was not attractive. For this reason, the production of pastiches and of heavily restored objects was promoted. The absence of documents on the archaeological contexts of the finds, on the origin and acquisition of the objects, and on the restorations carried out, contributed to the loss of a large part of the information on the way the objects were made, used, and traded in the past.

Among those civilisations, the Etruscan —which were rather unknown in the 19th century to connoisseurs and scholars— quickly became very much attractive to collectors, particularly after the finds in the Cerveteri (the tomb Regolini-Galassi was found in 1836). Along with the archaeological finds from the Italian excavations, many forged and heavily restored productions, based on a partial knowledge of the art of the Etruscans, entered the collections. The most renowned objects are the Pasinati cista, attributed to Francesco Martinetti, the sarcophagus of the British Museum, made by Pietro and Enrico Pennelli (Williams, 1992), the Diana of the Art Museum of St. Louis, made by Alceo Dossena (Fleming *et al.* 1971), and the colossal warriors of Orvieto of the Metropolitan Museum of Art, made by Pio and Alfonso Riccardo and by Alfredo Adolfo Fioravanti (Duchêne, 2006).

Some of the forgers were in fact restorers: the Pennelli brothers worked in the Campana's workshops. The objects arriving in the Campana's collection were cleaned and sometimes enhanced by additions by restorers who worked "like forgers" (Reinach, 1904, 1905). The Marquis Giovanni Pietro Campana di Cavelli (1808-1880), who had an unlimited passion for archaeology and antiquities, assembled about fifteen thousand paintings, ceramics, sculptures, jewellery items, wall-paintings, etc. (Sarti, 2001) among which a large number of items attributed to the Etruscans. Found in several excavations in Etruria and in the Latium, but also purchased in the antiquities market, the objects belonging to the Campana's collection vary from genuine pieces to fantasist fakes and pastiches (Borrelli, 1992).

After the acquisition by Napoleon III in 1861 of a large part of the Campana's collection, the gold jewellery items are kept at the Louvre Museum (Gaultier & Metzger, 2006). We must however remember that the intricate elaboration and decoration techniques used by the Etruscan goldsmith (Cristofani & Martelli, 2000) fascinated craftsmen such as the Castellani, a family of Italian goldsmiths and merchants who reproduced and restored several of those items (Donati, 2004). The copies are nowadays kept in the museum of Villa Giulia (Sgubini, 2000) and were the base of the archaeological-style jewellery very much in fashion in the 19th century (Rudoe, 1986).

If some pieces of the Campana's collection of jewellery are clear pastiches and fakes —the Castellani's workshop "was used on occasion either to forge or to garnish and embellish works purchased" (Bury, 1975)— others could not till now be classified by unequivocal factors due to the rarity of the objects and the difficulties connected to the short knowledge of the Etruscan goldsmith techniques. The aim of this work is to show the contribution of scientific techniques to the authentication of Etruscan gold jewellery through the study of a few items belonging to the Campana's collection.

ETRUSCAN JEWELLERY: IS IT A FAKE?

Etruscan jewellery is very much renowned by the quality of, among others, the filigree and granulation patterns, which were quite difficult to imitate by the modern mechanised techniques used in the 19th century (Hoffmann, 1969). The production of wires and granules by the Etruscans has been under discussion along with the welding techniques by scholars who often expressed divergent hypothesis. It is

generally assumed that —even if some authors expressed their doubts on this (Carroll, 1972)— drawn wires, with parallel striations (certainly produced after the 5th century AD, Oddy, 1977), are modern productions whilst plain hammered and twisted wires are ancient (Formigli, 1979; Hoffmann, 1969), identified in many pieces of jewellery (Nicolini, 2000). Etruscan granulation is difficult to classify (Carroll, 1974), but accurate observation of several items produced around the 6th century BC shows that granules attain a diameter of about 120µm in the case of dust granulation, giving a "rough" aspect to the gold surface, to reach for plain and hollow granules several millimetres (Guerra, 2007). The production and welding techniques of granulation patterns gave also rise to many debates and propositions (Carroll, 1974; Parrini *et al.,* 1982). It is generally assumed that in modern joining the decorations are "flooded" with solder (Hoffmann, 1969) while Etruscan granulation and wires seem often joined by copper salts (Mello *et al.,* 1983), technique described by Pliny, Theophilus and Cellini (Wolters, 1981). Forgeries are said to have, in addition to granules "half imbedded in solder" and to the bad conception of the granulation patterns, a lack of "snap and vigour" (Curtis, 1914).

The identification of Etruscan pastiches and forgeries were in a very few cases based on the study of the wire and granulation making (Formigli, 1993) and complemented by the determination of the item construction and the alloy composition. In spite of the analytical efforts, the Praeneste "sanguisuga" type fibula remained difficult to authenticate. Identified as a fake by some authors (Gordon, 1982; Guarducci, 1980), because the history of its acquisition and its analytical and technical studies lead to a fake by Francesco Martinetti (the author of the forged Pasinati cista), this items was considered as genuine but heavily restored and manipulated by others (Formigli, 1992). In this work we present a few successful studies by using the combination of several scientific methods.

SCIENTIFIC METHODS

According to the queries and the type of objects, different methods of examination and analysis are available for the study of cultural heritage objects (Regert *et al.,* 2006). For jewellery items the most important requirement is the non-destructiveness of the meyhods (Guerra, 2005). In order to obtain information on the construction of an object, scientific methods are coupled with goldsmith techniques knowledge and examination finds its major role (Perea, 1989; Armbruster & Guerra, 2003).

Examination of the objects under different lights and radiations was here restricted to binocular observation under direct and grazing natural light at different magnifications, X-radiography, and, for objects that can be contained in the chamber (figure 1), scanning electron microscopy (SEM). Optical

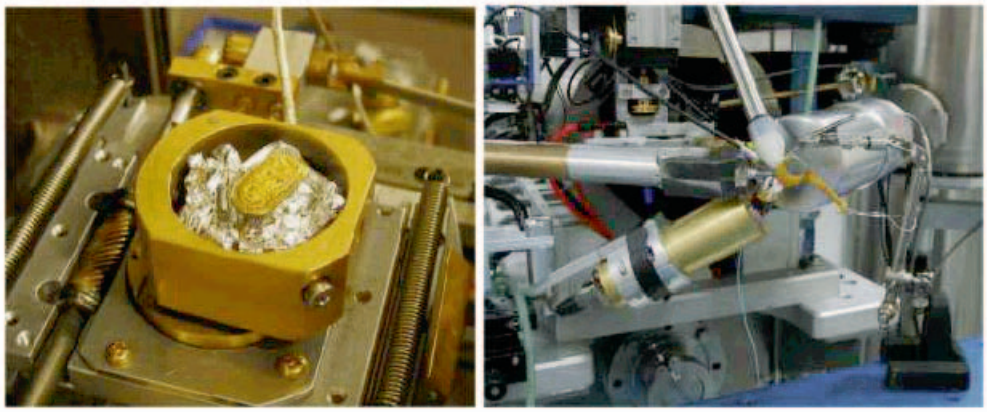


Figure 1. (a) Cartouche finger-ring in the sample-holder of the SEM; (b) fibula during PIXE analysis at AGLAE (© M.F. Guerra, C2RMF).

microscopy shows the details and defects present on the surface of the object and gives information on the topography and texture of the surfaces, on the mounting and joining techniques, etc.; SEM supplies equivalent details but also provides information on the chemical phases. When coupled to an energy dispersive X-ray detection system, SEM-EDS provides images together with elemental analysis and chemical maps. X-radiography detects in the case of jewellery the invisible details of the constructions, some manufacture techniques, and the possible repairs made during the life of the object.

Elemental, isotopic and structural analysis of jewellery items provides information on the nature of the materials, on some manufacturing techniques, on the possible products from the deterioration of the materials, and on the provenance of the raw materials (Guerra & Calligaro, 2003). The non-destructiveness requirement usually leads to the use of elemental analysis that can be carried out by a very large number of methods from particles accelerators to small portable XRF systems or by SEM-EDS (Tsuji *et al.,* 2004, Uda *et al.,* 2005). According to the sensitivity of the method, elemental analysis provides information either on the nature of the material or, by measuring trace elements, on the provenance of the raw material (Guerra *et al.,* 2007). Elemental analysis was carried out in this work by PIXE (particle induced X-ray emission) with a 3MeV external proton beam of 30µm diameter and an intensity of 30-40nA. Two Si(Li) detectors collected the emitted X-rays, one with a 75µm filter of Cu to absorb the gold L-lines, measures minor and trace elements (Guerra, 2004).

SMALL RESTORATIONS AND "MISAPPROPRIATIONS"

In this section we consider two types of objects present in the Campana's collection: the first are genuine objects slightly restored but kept in their original form while the second are genuine objects whose function seems to have been modified in modern times by small additions. Figure 2 shows several details of a "sanguisuga" type fibula[1] whose head and body are maintained together by a gold plain wire. X-radiography shows the localisation of the modern holes that were made on the head of the fibula in order to let the wire pass through. This round wire, visible under the binocular and by SEM, is of about 200µm diameter. The hole, with quite "fresh" borders, has a diameter of about 700µm and was pierced from the inside of the fibula head.

The pair of brooches named Helios' heads[2] are among the most famous objects copied by Castellani in the 19th century (Soros & Walker, 2004); the punch of the sun god's head made in 1859 by Castellani is kept in the Istituto Statale d'Arte in Rome (Donati, 2004). If nowadays these items are mounted as

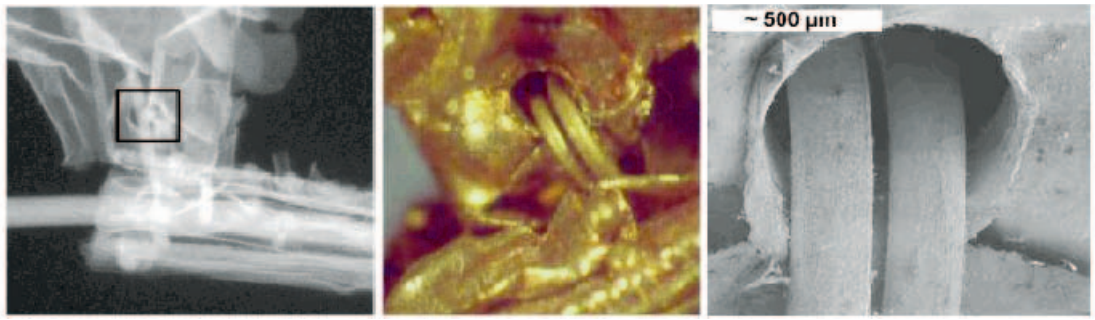


Figure 2. Details of a modern restoration of a "sanguisuga" type fibula: (a) X-radiography (©T. Borel, C2RMF); (b) binocular image (©D. Bagault, C2RMF); (c) SE image by SEM (©M.F. Guerra, C2RMF).

1. From Vulci (?) 6th century BC, reference Bj823 (Gaultier & Metzger, 2006:128).

2. From southern Italy (?) 4th -3rd century BC, references Bj962 and Bj963 (Gaultier & Metzger, 2006:162).

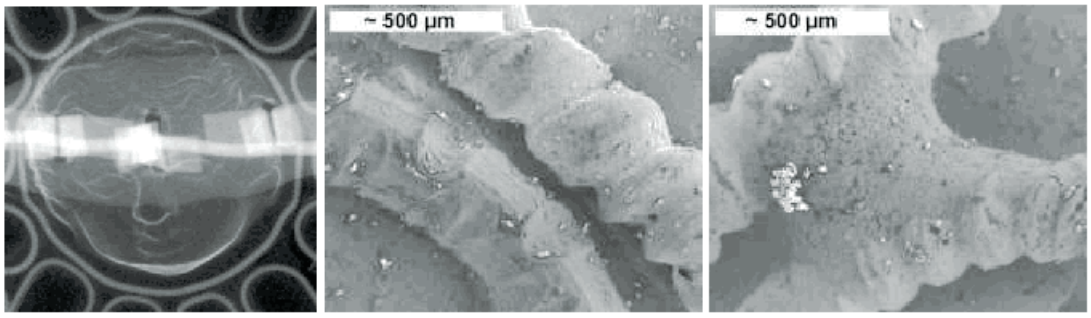


Figure 3. Details of modern restorations of the Helios' brooches: (a) clasp system by X-radiography (©T. Borel, C2RMF); SE images by SEM of the (b) plain incised wires and (c) hard solder joining (©M.F. Guerra, C2RMF).

brooches, the X-radiography (figure 3a) shows that the clasp construction is modern, obtained by application of one pin and several gold sheets, which take the form of rectangular "patches".

Observation under the SEM of the wires that decorate the 28 rays in repoussé emanating from the sun god's heads points out a small number of modern restorations. They consist on the addition of plain wires incised with a chisel, imitating beaded wire, certainly not made by a goldsmith. Figure 3 compares the morphology of these modern wires with the ancient beaded wires. Equivalent incised wires could be found on one panel of the hinged bracelets (see below "The pastiches") and on the scarab necklace (reference Bj521-544, Platz-Horster & Tietz 1993) from the Campana's collection.

The latter item was assembled in 1859 by the Castellani's workshop (Gaultier & Metzger, 2006: 44), which could indicate that one restorer was enhancing Etruscan items at this workshop.

Figure 3c shows the presence of a modern hard solder to weld some of the beaded wires, their grooves corresponding to the instrument used for their fabrication by rolling (Swaddling *et al.,* 1991). All the wires are plain and their diameters vary from 250 to 300µm. The analysis by PIXE shows that the ancient parts were fabricated with a gold alloy containing 2.1±0.1% Ag and 0.7±0.1% Cu whilst the gold alloy of the modern wires contains 7.9±02% Ag and 1.6±0.3% Cu. The elemental composition of the ancient parts of the brooches tends to corroborate our assumptions and shows that the rays belong to the same production of the sun god's heads. The slight differences in the central sun god's head motif for the two brooches seem to point out a separate production in repoussé by the same goldsmith. It is however impossible to affirm whether these objects were brooches in the past.

THE PASTICHES

Among the most famous items of the Campana's collection of jewellery some are pastiches. The three hinged bracelets[3], copied by Castellani, by Melillo and by other jewellers in the 19 th century (Soros, 2004), were first attributed to Tarquinia (Simpson, 2004) and some years ago recognised as pastiches (Rudoe, 1984), consisting of several flattened front and rear curved panels from Etruscan "a bauletto" type earrings from the 6th century BC. The observation of these jewellery items under different lights and radiations revealed new essential details of the construction of each panel (Guerra, 2005).

3. References Bj987, Bj989, and Bj989 (Gaultier & Metzger, 2006: 166), comprise respectively 9, 13 and 9 gold panels hinged together with clasps at the end.

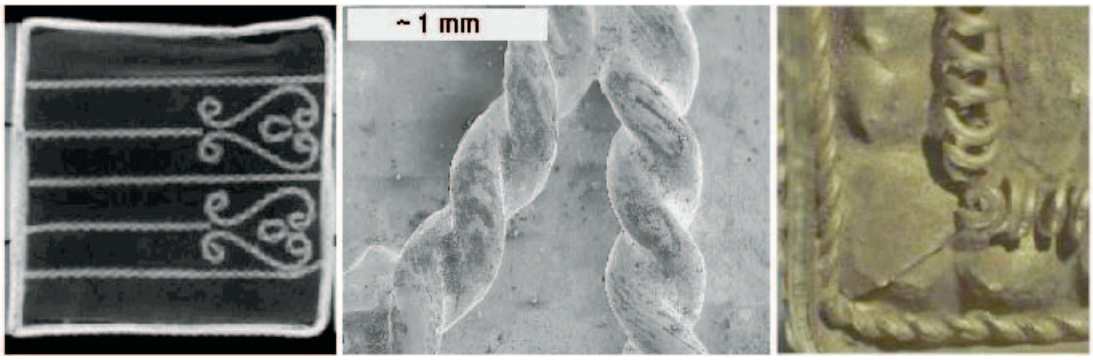


Figure 4. (a) X-ray radiography modern gold panel from the longest hinged bracelet (©T. Borel, C2RMF); (b) SE image by SEM of the drawn wires (©M.F. Guerra, C2RMF); (c) assembling region of a panel consisting on a central ancient part and a modern contour (©D. Bagault, C2RMF).

In general, a panel comprises a central ancient part and a modern contour (figure 4c). The latter is always produced with drawn wires of about 200µm diameter, except in one single panel where incised wire of the same diameter is also applied (equivalent to the wire of figure 3). The square patterns as expected come from the front and rear panels of "a bauletto" earrings but the circular patterns come from their side panels. We could also reveal that a few square panels of a single pattern —particularly repeated in the longer bracelet— were produced with drawn wire, have no contour and are totally modern (figure 4a). The heterogeneous sources of the different parts of the bracelets are illustrated by the disparity of the alloys that even so corroborate in average our assumptions for each panel. For one panel we observed that the central ancient parts have in average 3.5% Ag and 1.7% Cu[4] and the modern contour and rear plaque have in average 1.3% Ag and 0.7% Cu. We remark the dissimilarity of these and the Helios brooches alloys.

The disparity of the alloys used in the production of a single item is also observed in the case of rings. Etruscan gold rings with cartouche, produced during the 2nd half of the 6th century BC, consist of a hoop and an engraved or in *repoussé* plaque mounted on a bezel. Those belonging to the Campana's collection are occasionally ornamented with wire and granulation patterns and mounted with ribbon hoops, which is rather suspicious. In order to perceive the degree of authenticity of these rings and the complexity of the pastiches, we describe in this work the most complex piece[5], considered as "absolutely of Etruscan origin" (Fontenay, 1887: 23), presenting in addition to a ribbon hoop and coiled patterns of wires surmounted by granules, two cervidaes mounted on the bezel.

Figure 5 shows the X-radiography of the finger-ring and a detail under the binocular of one of the coiled patterns and of one beaded wire on the hoop. The granules are plain and the cervidaes, which are applied on the wire and granules patterns, are hollow. The twisted and the beaded wires are "flooded" in solder and granules, with heteroclite diameters, are not entirely round. These are the characteristics expected for modern work. The observation of the cervidaes under the SEM (figure 6) shows that they are die formed in two halves. The grooves from the joining can be observed on the heads and tails; on the heads we note a slight deviation of one of the sheets. This manufacture is ancient and usual for the epoch (Williams & Ogden, 1995). We can assume that these cervidaes were recovered from another ancient item in the restoration workshop and mounted on this finger-ring.

4. We could measure for the genuine "a bauletto" earring with reference Bj262 (Gaultier & Metzger, 2006: 166) a gold alloy with 2.1±0.3% Cu and 4.4±0.1% Ag.

5. Reference Bj1073 (Gaultier & Metzger, 2006: 60).

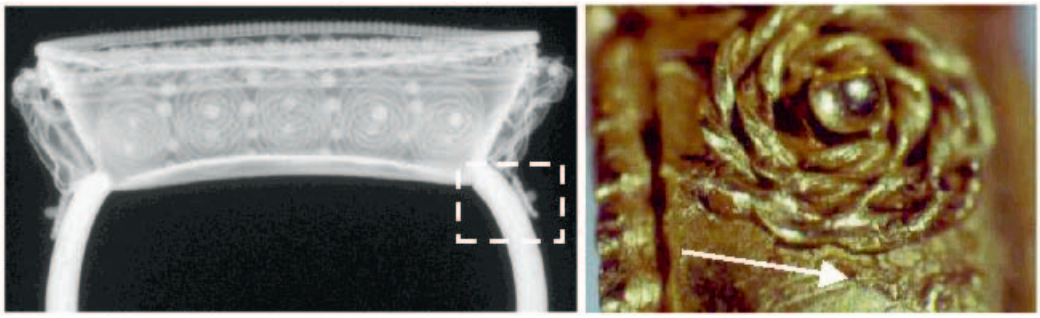


Figure 5. (a) X-ray radiography of the cartouche finger-ring on the left (©T. Borel, C2RMF); (b) coil pattern with granule on the hoop under the binocular "flooded" in solder on the right (©D. Bagault, C2RMF).

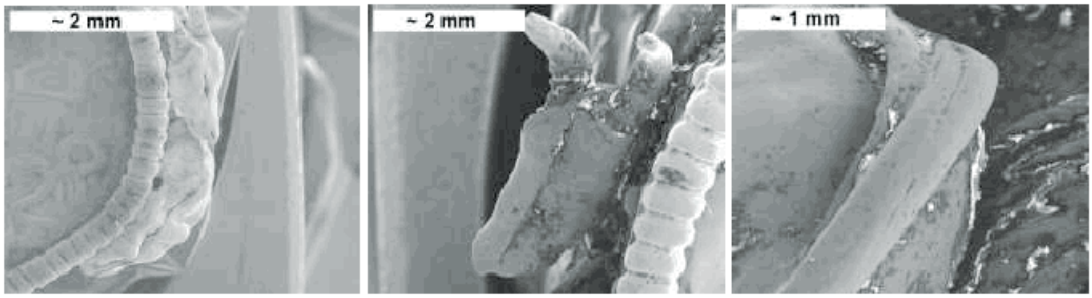


Figure 6. SE images by SEM of the cervidaes mounted on the finger-ring. (©M.F. Guerra, C2RMF.

The observation of the finger-ring under the SEM reveals the use of several types of wires, which are illustrated in figure 7. The classical beaded wire of about 250µm diameter outlining the in repoussé motif of the cartouche (figure 7a) does not show the presence of grooves, which means that its manufacture is different from the ornamental beaded wires of the Helios brooches. In spite of the quite regular aspect of this wire its fabrication seems ancient. The twisted wires used to form the coil motifs and decorate the edges of the bezel are modern drawn wires of about 200µm diameter; the beaded conical wire of about 500µm diameter on the edges of the ribbon hoop, with a morphology close to those outlining the "S" motifs of the cartouche, can also be assumed as modern.

In order to check our assumptions on the genuine and modern parts of the finger-ring, the different base elements and ornaments were analysed by PIXE. The table of figure 8 reveals the use of four different alloys for making: (1) the elements of the cartouche (plaque, "S" wires, and granules); (2) the cervidaes; (3) the hoop and its decoration wires and granules; (4) all the elements of the bezel (plaque, coil wire patterns and granules). The relation between colour and composition (Rapson, 1996) shows that all the alloys are

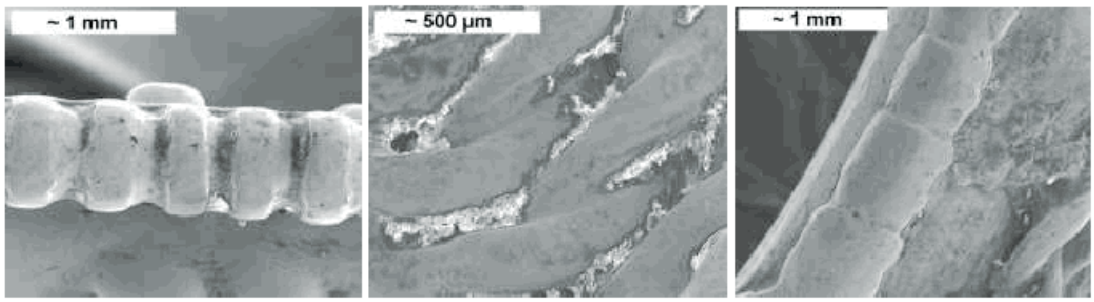
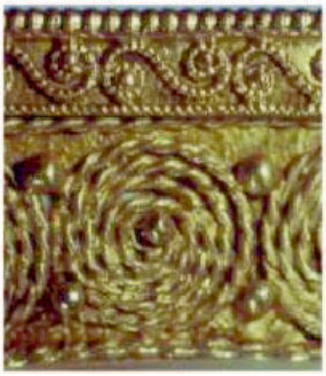


Figure 7. SE images by SEM of the wires applied to the finger-ring. (©M.F. Guerra, C2RMF).

red-yellow except the latter, which is yellow. However, if the first three are of about 23 carats —high quality expected for ancient alloys— the fourth alloy is of only about 18-20 carats. None of these alloys are similar to the alloys used in the ancient or modern parts of the Helios brooches.

Why use such unequal alloys? The alloy of the cartouche elements is close to the alloys of other finger-rings with no restorations or enhancements kept in the Campana's collection. We can assume that all theses parts are ancient. The two cervidaes are also ancient. The ribbon hoop and its ornaments are of modern manufacture. One fibula and one decorated gold sheet in the set of copies made by Castellani showed a similar composition (Cesareo & Von Hase, 1976). Either the assumption that the Castellani's workshop used very high purity gold alloys (Ogden, 2004) is not confirmed or the finger-rings were enhanced in another workshop. The bezel and its ornaments are also modern, made with n alloy close to the 18 carat gold of the 19th century goldwork. We remind that the Etruscan alloys of lower quality have in general higher contents of silver; those showing contents of silver closer to our fourth alloy have lower contents of copper (Cesareo & Von Hase, 1976; Paternoster *et al.,* 1996).



	Cu %	Ag %	Au %
in repoussé plaque	2.1	0.3	97.7
top bezel plaque sustaining S patterns	1.9	0.3	97.8
beaded wire of top bezel	2.0	0.4	97.6
granules and wires on S patterns	2.2	0.3	97.5
cervidaes on bezel	2.3	1.2	96.5
ribbon hoop	2.3	3.4	94.3
granules on hoop spirals	2.2	3.7	94.1
bezel plaque	3.3	14.3	82.4
bezel twisted wires	2.5	12.3	85.2
bezel spiral wires	5.5	17.9	76.6
granules on and between bezel spirals	4.0	14.9	81.2
granules and spirals on hoop	2.7	13.2	84.2

Figure 8. Wire and granulation patterns on the bezel and alloys measured by PIXE for the different parts of the finger-ring.

Other finger-rings from the Campana's collection with ornaments and ribbon hoops are decorated with drawn wires and heteroclite granules, which are "flooded" in solder. Those elements are made with an alloy similar to our fourth alloy (Guerra, 2007). These facts tend to indicate that the finger-rings in the Campana's collection form one independent group and were manipulated by one single goldsmith or workshop, but, if we consider the changes and enhancements of other jewellery items in the collection (the Helios brooches and the hinged bracelets), probably not the Castellani's workshop. We can at last denote that signs of electroplating and presence of I and Hg (Ogden, 2004) are absent as well as grain boundaries expected for etching (Meeks, 1998) in 19th century productions.

CONCLUSION

The study of a few jewellery items attributed to the Etruscans and belonging to the Campana's collection showed the important contribution of scientific methods to authentication (exam and elemental analysis) particularly in the case of complex pastiches. If exam of slightly restored objects or "misappropriations" is adequate to separate ancient from modern parts, elemental analysis gives criteria on the reliability of our assumptions. The exam of the Helios brooches, which certainly had another function in ancient times, showed that they are genuine, made by one goldsmith, and slightly restored in the 19th century. Their restoration was achieved by addition of incised wires of similar morphology to wires perceived in the hinged bracelets and in the scarab necklace belonging both to the Campana's collection. The latter was

assembled in 1859 at the Castellani's workshop and Castellani made a punch, copy of the sun god's head of the Helios brooches, the same year. Did one restorer make the restorations? We remind that most of the modern parts of the hinged bracelets were made with drawn wire, which could indicate a mounting by a goldsmith.

Elemental analysis has a major role in the case of intricate pastiches, corroborating the assumptions on the modern and ancient parts such as for the Helios brooches. If for the hinged bracelets the separation was less obvious, the analysis of the finger-ring with cartouche, a complex pastiche, evidenced the use of four alloys and confirmed its construction by assemblage of modern with ancient parts of different origins. The presence of an 18-20 carats gold alloy only detected in the Campana's collection until today in base or ornamental elements of finger-rings of this type seems to indicate the work of an unique workshop or restorer (at least for the basic mountings). As far, other jewellery items of this collection present restorations and enhancements made with alloys of higher quality.

By assembling exam with elemental analysis and by increasing the number of studied pastiches and genuine objects we expect in the future to list criteria that can be used to distinguish the mountings and enhancements made at the Castellani's workshop from those made by other workshops.

REFERENCES

ARMBRUSTER, B.; GUERRA, M.F. 2003: "L'or archéologique, une approche interdisciplinaire". *Technè* 18: 57-62.

BORRELLI, L.V. 1992: "Faux, pastiches, imitations". In M. Pallotino (ed.): *Les Étrusques et l'Europe.* R.M.N. Paris: 432-439.

BURY, S. 1975: "Alessandro Castellani and the revival of granulation". *The Burlington Magazine* 117(871): 664-668.

CARROLL, D.L. 1972: "Wire drawing in Antiquity". *Am. J. Archaeology* 3: 321-323.

CARROLL, D.L.1974: "A Classification for Granulation in Ancient Metalwork". *Am. J. Archaeology* 78(1): 33-39.

CESAREO, R.; VON HASE, F.W. 1976: "Analisi di ori etruschi del VII sec. a.C. con uno strumento portatile che impiega la tecnica fluorescenza X eccitata da radioisotope". *Atti dei Convegni Lincei* 11: 259-296.

CRISTOFANI, M.; MARTELLI, M. 2000: *L'oro degli Etruschi.* Istituto Geografico de Agostini. Roma.

CURTIS, C.D. 1914: "An early Graeco-Etruscan fibula". *J. Roman Studies* 4 (1): 17-25.

DONATI, M. 2004: "The Workshop: Models, Tools, and Newly Discovered Designs". In Soros and Walker 2004: 129-152.

DUCHÊNE, H. 2006: "La guerre du faux n'aura pas lieu". *Dossiers d'Archéologie* 312: 2-7.

FLEMING, S.J.; JUCKER, H.; RIEDERER, J. 1971: "Etruscan wall paintings on terracotta: a study in authenticity". *Archaeometry* 13(2): 143–167.

FONTENAY, E. 1887: *Les bijoux anciens et modernes.* Maison Quentin. Paris.

FORMIGLI, E. 1979: "Modi di fabbricazione di filo metallico nell'oreficeria etrusca". *St. Etr.* 47: 281-292.

FORMIGLI, E. 1992: "Indagini archeometriche sull'autenticità della fibula Praenestina". *Mitteilungen* DAI(RA) 99: 329-343.

FORMIGLI, E. 1993: “Einige fälschungen antiken Goldschmucks im 19. Jahrhundert”. *Archäologischer Anzeiger* 3: 299-332.

GAULTIER, F.; METZGER, C. (eds) 2006: *Trésors antiques. Bijoux de la collection Campana.* Musée du Louvre-5 Continents. Paris.

GORDON, A.E. 1982: “On la cosiddetta fibula Prenestina by Margherita Guarducci”. *The Classical Journal* 78 (1): 64-70.

GUARDUCCI, M. 1980: *La cosiddetta fibula Prenestina. Antiquari, eruditi e falsari nella Roma dell' Ottocento,* Accademia Nazionale dei Lincei, ser. 8, vol. 24, Rome.

GUERRA, M.F. 2004: “Fingerprinting ancient gold with proton beams of different energy”. *Nucl. Instrum. and Methods* B 226: 185-198.

GUERRA, M.F. 2005: “Etruscan gold jewellery pastiches of the Campana’s collection revealed by scientific analysis”. In M.Cavallini and G.E. Gigante (eds.): *De Re Metallica: dalla produzione antica alla copia moderna.* L'Erma Di Bretschneider. Rome: 103-128

GUERRA, M.F. 2007: “Examen et analyse élémentaire de bijoux étrusques de la collection Campana”. In Ecole du Louvre (eds.): *Les bijoux de la collection Campana : de l’antique au pastiche.* Paris: 145-177.

GUERRA, M.F.; CALLIGARO, T. 2003: “The analysis of gold: manufacture technologies and provenance of the metal”. *Measurement in Science and Technology* 14: 1527-1537.

GUERRA, M.F.; CALLIGARO, T.; PEREA, A. 2007: “The treasure of Guarrazar: tracing the gold supplies in Visigothic Iberian peninsula”. *Archaeometry* 49(1): 53-74.

HOFFMANN, H. 1969: “Greek gold reconsidered”. *Am. J. Archaeology* 4: 447-451.

MEEKS, N. 1998: “A Greek gold necklace: a case of dual identity”. In D. Williams (ed.): *The Art of the Greek Goldsmith.* The British Museum Press. London: 127-138.

MELLO, E.; PARRINI, P.; FORMIGLI, E. 1983: “Etruscan Filigree: Welding Techniques of Two Gold Bracelets from Vetulonia”. *Am. J. Archaeology* 87(4): 548-551.

NICOLINI, G. 2000: *Techniques des ors anciens.* Picard ed. Paris.

OGDEN, J. 2004: “Revivers of the lost Art: Alessandro Castellani and the quest for classical precision”. In Soros and Walker 2004: 181-200.

ODDY, A. 1977: “The production of gold wire in Antiquity”. *Gold Bull*. 10 (3): 79-87.

PARRINI, P.; FORMIGLI, E.; MELLO, E. 1982: “Etruscan granulation analysis of orientalizing jewlry from Marsiliana d’Albergua”. *Am. J. Archaeol.* 86, 118-121.

PATERNOSTER, G.; RINZIVILLO, R.; SCHEICH, C. 1996: “Analyses par la méthode non destructive FX de bijoux campaniens en or datant du VIIe au IVe s av. J-C” *Supplem. Rev. Archéométrie:* 147-152.

PEREA, A. 1989: “Tecnologia y Metodos de studio”. En *El oro en la España Preromana, Revista de Arqueologia.* Zugarto eds. Madrid: 24-31.

PLATZ-HORSTER, G.; TIETZ, H.U. 1993: “Etruskische Skaraben Kolliers”. *Jahrbuch der Berliner Museen* 35: 7-45.

RAPSON, RW. 1990: “The metallurgy of the coloured carat gold alloys”. *Gold Bull.* 23 (4): 128-133.

REGERT, M.; GUERRA, M.F.; REICHE, I. 2006: “Physico-chimie des matériaux du patrimoine culturel”. *Techniques de l'Ingénieur* P 3780: 1-21 ; P 3781: 1-11 ; P 3782: 1-3.

REINACH, S. 1904. “Esquisse d’une histoire de la collection Campana”. *Revue Archéologique* 4e sér., t. IV: 179-200 and 363-384 ; t. V: 57-92, 208-249 and 343-364.

RUDOE, J. 1984: “The archaeological style in 19 th century Jewellery”. In C. Gere, J. Rudoe, H. Tait and T. Wilson (eds.): *Art of the Jeweller: A Catalogue of the Hull Grundy Gift to the British Museum.* The British Museum Press. London: 149-151.

RUDOE, J. 1986: “Elizabeth Barrett Browning and the taste for archaeological style jewelry”. *Philadelphia Museum of Art Bulletin* 83 (353): 22-23.

SARTI, S. 2001: *Giovanni Pietro di Campana (1808-1880). The man and his collection.* BAR S971.

SGUBINI, A. (ed.) 2000: *La collezione Augusto Castellani.* L’Erma di Bretschneider. Roma.

SIMPSON, E. 2004: “A perfect imitation of the ancient work: ancient jewellery and Castellani’s adaptations”. In Soros and Walker 2004: 201-228.

SOROS, S.W. 2004: “Under the great canopies of civilization: Castellani jewellery and metalwork at international exhibitions”. In Soros and Walker 2004: 229-284.

SOROS, S.W.; WALKER, S. (eds.) 2004: *Castellani and Italian Archaeological Jewelry.* Bard Graduate Centre. New York.

SWADDLING, J.; ODDY, A.; MEEKS, N. 1991: “Etruscan and Other Early Gold Wire from Italy, in Classical Gold Jewellery and the Classical Tradition”, *Society of Jewellery Historians* 5: 7-21.

TSUJI, K.; INJUK, J.; VAN GRIEKEN, R. (eds.) 2004: X-*Ray spectrometry: recent technological advances.* John Wiley and Sons. New York.

UDA, M.; DEMORTIER, G.; NAKAI, I. (eds). 2005: *X-rays for Archaeology.* Springer. The Netherlands.

WILLIAMS, D. 1992: “The Brygos tomb reassembled and 19 th -century commerce in Capuan antiquities”. *Am. J. Archaeology* 96 (4): 617-636.

WILLIAMS, D.; OGDEN, J. 1995: *Greek Gold: Jewelry of the Classical World.* The British Museum Press. London.

WOLTERS, J. 1981: “The ancient craft of granulation”. *Gold Bull.* 14 (3): 119-129.

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES FÉRRICOS PROCEDENTES DEL POBLADO PROTOHISTÓRICO DE BASAGAIN (GIPUZKOA, EUSKAL HERRIA). ESTUDIO PRELIMINAR

CHARACTERISATION OF SOME FERRIC MATERIALS COMING FROM THE PROTOHISTORIC SITE OF BASAGAIN (GIPUZKOA, BASQUE COUNTRY). A PRELIMINAR STUDY

SONIA SAN JOSE[1], MARTINA RENZI[2], SALVADOR ROVIRA[3]

(1) Aranzadi Zientzi Elkartea. Zorroagagaina. 20014 Donostia. ssanjose@aranzadi-zientziak.org
(2) Instituto de Historia. CSIC. C/Albasanz, 26-28. 28037 Madrid. martina.renzi@iol.it
(3) Museo Arqueológico Nacional. C/ Serrano, 13. 28001 Madrid. salvador.rovira@mcu.es

RESUMEN

El yacimiento de Basagain (Anoeta) es un poblado fortificado de la Edad del Hierro, con cronologías próximas al cambio de Era. La excavación ha proporcionado numerosas escorias y materiales férricos, y la localización de minerales de hierro en el mismo monte donde se sitúa el poblado fue, posiblemente, un factor de importancia a la hora de elegir la ubicación del mismo. Este trabajo es un estudio preliminar de los materiales arqueometalúrgicos de Basagain que se encuadrará dentro de una investigación que tiene como objetivo la Arqueometalurgia de la Edad del Hierro en Euskal Herria. Para su realización, se han empleado técnicas metalográficas con el objetivo de determinar los procesos de producción siderúrgica desarrollados en el yacimiento.

ABSTRACT

Basagain (Anoeta) is a fortified settlement dating back to the Iron Age, approximately to the turn of the era. A possible factor that influenced the choice of Basagain's position is the presence of iron minerals on the same hill where the site is located. In fact, archaeological excavations at this site have yielded a significant quantity of slags and ferric materials. The present paper is a preliminary study of some archaeometallurgical materials found at Basagain. The case study is part of a wider research project whose objective is Iron Age Archaeometallurgy in the Basque Country. Metallographic techniques have been used in order to determine the siderurgic production processes carried out at the site.

Palabras clave: Edad del Hierro, Poblado Fortificado, Basagain, Gipuzkoa, Euskal Herria, Metalurgia, Materiales férricos, Escorias, Metalografía, Forja.

Key words: *Iron Age, Fortified settlement, Basagain, Gipuzkoa, Basque Country, Metallurgy, Ferric materials, Slags, Metallography, Smithing activities.*

I. INTRODUCCION

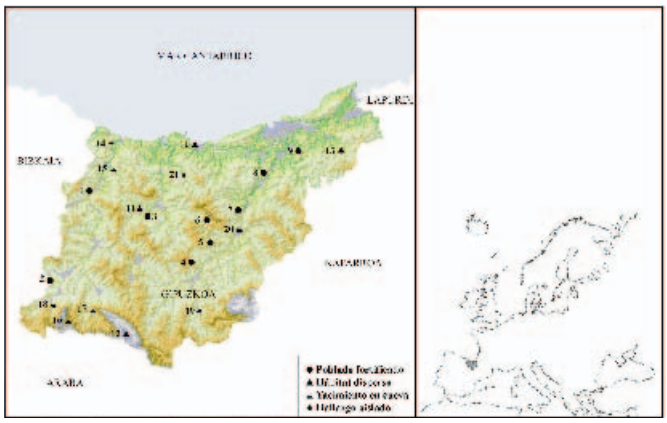
Dentro del programa de investigación para el conocimiento del poblamiento del Bronce Final-Edad del Hierro en Gipuzkoa, desde hace más de tres décadas se están llevando a cabo prospecciones sistemáticas, excavaciones y diferentes estudios que han proporcionado abundante información para reconstruir los modos de vida de las gentes que habitaron nuestro territorio durante el I milenio a.C. (Peñalver, 2001a; Peñalver y San Jose, 2003). En este sentido, una de las actuaciones que está aportando novedosos e interesantes resultados es la excavación arqueológica del poblado fortificado de Basagain (Anoeta, Gipuzkoa), dirigida por X. Peñalver desde el año 1994. Las labores en este yacimiento han permitido recuperar abundantes elementos arqueológicos —entre los cuales destacan numerosos fragmentos de hierro y una cantidad significativa de escorias férricas— así como los primeros datos sobre estructuras, probablemente de habitación.

Este trabajo se centrará en los restos arqueometalúrgicos encontrados y, concretamente, en los materiales férricos, muy numerosos en este poblado. De este modo, se presentará una primera aproximación al análisis de la producción del hierro en la zona, que pretende ser el inicio de un programa más amplio cuyo objetivo es el estudio de la Arqueometalurgia de la Edad del Hierro en Euskal Herria (San Jose, 2005; San Jose, 2006).

II. POBLADO FORTIFICADO DE BASAGAIN (ANOETA, GIPUZKOA)

Descubierto gracias a K. Oria, C. Olaetxea confirmó la existencia del poblado fortificado de Basagain en 1992 y X. Peñalver inició un programa de excavaciones sistemáticas en 1994, que en la actualidad están todavía en curso (Peñalver, 1994-2006). El yacimiento está situado en la zona media del valle del río Oria, en una cima del mismo nombre, a 295m s.n.m. (Fig. 1). Ésta tiene forma ovalada, sin apenas defensas naturales, pero está rodeada en todo su perímetro por una muralla de piedra, hoy en día cubierta de tierra. Aunque de poca altitud, desde su cima se controla toda la zona circundante, así como parte del valle. Su superficie es de 2,8 Ha y presenta un gran aterrazamiento artificial anexo a la muralla.

El área principal de excavación es la terraza Este y un tramo de la muralla situado en la misma zona (Fig. 2). Estos trabajos arqueológicos están permitiendo documentar la tipología de la muralla compuesta por dos paramentos exteriores de lajas y bloques, y reforzada en su interior mediante un relleno de tierra y piedras. Por otro lado, en las últimas campañas de excavación, cerca de la muralla se están empezando a definir estructuras posiblemente de habitación, formadas por postes de madera sujetados por grandes cuñas de piedras y paredes realizadas mediante entramado vegetal, cubiertas por manteado o tapial.



Figuras 1 y 2. Localización y vista general del poblado fortificado de Basagain (Anoeta, Gipuzkoa).

Asociado a estos elementos constructivos, se ha recuperado abundante material arqueológico, correspondiente principalmente a recipientes cerámicos de diversas tipologías fabricados a mano, aunque también se documentan algunas piezas realizadas a torno. También se ha recogido material lítico para tareas agrícolas, material metálico de hierro de variada funcionalidad —como elementos de construcción, aperos agrícolas, domésticos, etc.— y objetos de bronce utilizados principalmente para adornos. Además de estas piezas metálicas, hay que destacar el abundante número de fragmentos de escorias recuperadas en este yacimiento, más de 300 restos, una cantidad relevante en comparación con lo que se ha recogido hasta la fecha en las excavaciones de otros yacimientos de la zona que presentan las mismas características y cronología.

Entre los distintos objetos hallados, cabría destacar los materiales fabricados en pasta vítrea, como un fragmento de brazalete que sugiere la existencia de un comercio o intercambio a larga distancia. Por otra parte, la localización de materiales antropológicos, carpológicos y algún resto de fauna —inexistente en otros poblados de la vertiente atlántica de Euskal Herria por la excesiva humedad y acidez del terreno— aportan información valiosa sobre los modos de subsistencia de los habitantes del poblado.

La gran mayoría de los materiales recuperados se encuadran en la II Edad del Hierro, concretamente en los últimos siglos antes del cambio de Era. En este sentido, contamos con las siguientes dataciones (Peñalver, 2001b: 42):

- 2.360±120 B.P. (I.19.004)
- 2.320±30 B.P. (I.18.461)
- 2.310±55 B.P. (I.19.003)
- 2.170±80 B.P. (I.18.633)
- 1.600±80 B.P. (I.18.632)

III. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Los restos arqueológicos estudiados en este trabajo han sido recogidos en la zona de las estructuras de habitación identificadas en el área este del yacimiento, próximas a la muralla (cuadros 16U y 16V). Se han seleccionado un total de 9 piezas, de las cuales 2 corresponden a objetos de hierro y las 7 restantes son escorias férricas. Una vez realizada la descripción morfológica de cada elemento y sus correspondientes fotografías, se ha procedido a extraer una muestra de cada una de ellas mediante corte con sierra de disco diamantado. Estas muestras se han montado individualmente en tacos de resina bicomponente de fraguado rápido y, posteriormente, se han lijado y pulido siguiendo el método habitual usado en las preparaciones metalográficas. Para el examen de dichas muestras se ha utilizado el Microscopio Óptico Leica DMLM del Instituto de Historia del CSIC de Madrid.

Las piezas metálicas analizadas corresponden a dos objetos de hierro afectados por un avanzado estado de oxidación que no permite reconstruir su forma original. La primera muestra, BA.16U.292, procede de un fragmento indeterminado de hierro de forma ovalada y sección circular, con superficie irregular y manchas ferruginosas (Fig. 3). En la metalografía, a pesar de la oxidación de la pieza, todavía se pueden apreciar restos del núcleo metálico original (Fig. 4), probablemente perlita residual como parece sugerir la existencia de estructuras aciculares (Fig. 5) identificadas como cementita, más resistente que la ferrita a la oxidación. Originalmente debía tratarse de una pieza de acero.

El segundo de los fragmentos de hierro, BA.16V.211 (Fig. 6) también tiene forma ovalada pero su sección es tendencialmente aplanada; presenta una coloración marrón-rojiza. La superficie es irregular y está cubierta por restos de óxido, de arcilla y pequeños cantos.

Figura 3. Pieza de hierro BA.16U.292.

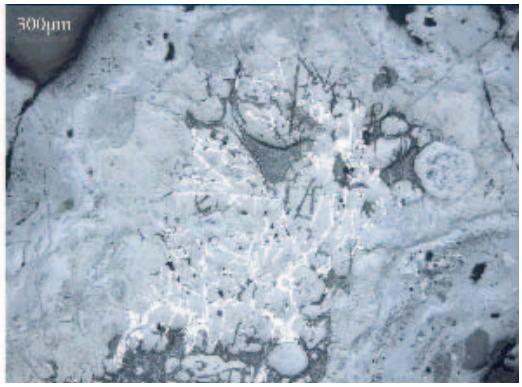


Figura 4. BA.16U.292. Restos del núcleo metálico original.

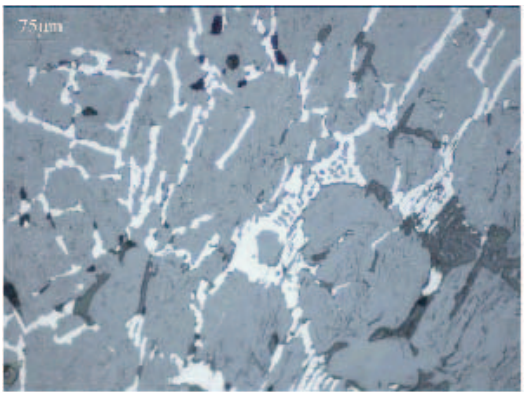


Figura 5. BA.16U.292. Perlita laminar residual.

Figura 6. Fragmento de hierro BA.16V.211.

Su examen metalográfico no permite determinar la microestructura interna de la pieza, ya que está casi totalmente corroída, como demuestra la sección analizada, casi enteramente ocupada por oxidaciones secundarias. El núcleo metálico conservado es muy reducido, limitado a pequeñas inclusiones de hierro (Fig. 7), en algunas de las cuales también se aprecian formaciones globulares de óxido.

Por lo que concierne a las escorias recogidas, todas son nódulos de pequeño tamaño que no sobrepasan los 70mm de longitud.

La primera muestra analizada, BA.16U.290, corresponde a un fragmento de escoria de forma ovalada y de color gris oscuro (Fig. 8). La superficie es irregular y presenta abundantes poros, improntas de material orgánico y restos de óxido adheridos. El fondo es más regular, con abundantes vesículas de pequeño tamaño y manchas de oxidación. En la fractura se aprecia un material bastante compacto con algunos poros de pequeño tamaño y oxidaciones internas. El magnetismo afecta solamente a algunas zonas de la escoria.

La microestructura de la escoria está formada por grandes cristales tabulares de fayalita en una matriz de vidrio de relleno. El óxido de hierro segregado es esca-

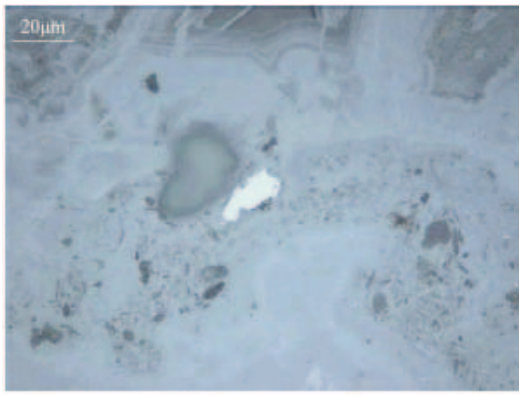


Figura 7. BA.16V.211. En color más claro, partícula de hierro metálico.

so, formando dendritas y glóbulos de wustita y cristales de magnetita (Fig. 9). La estructura es bastante homogénea aunque en algunas zonas de la muestra haya cambios estructurales, como en la zona retratada en la Fig. 10, donde se observa la transformación wustita ◄► magnetita, lo que puede significar alternancia de ambiente reductor y oxidante en el entorno, o que se haya llegado a alcanzar temperaturas suficientemente elevadas, alrededor de 1.300ºC, para fundir la magnetita.

El fragmento de escoria BA.16V.201 (Fig. 11) tiene forma ovalada y una superficie irregular, rugosa, con concavidades producidas posiblemente por restos de carbón vegetal. El material en fractura es poroso, de color gris oscuro. No presenta magnetismo.

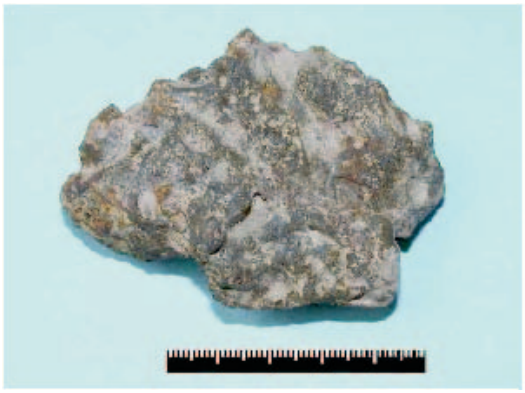


Figura 8. Escoria BA.16U.290.

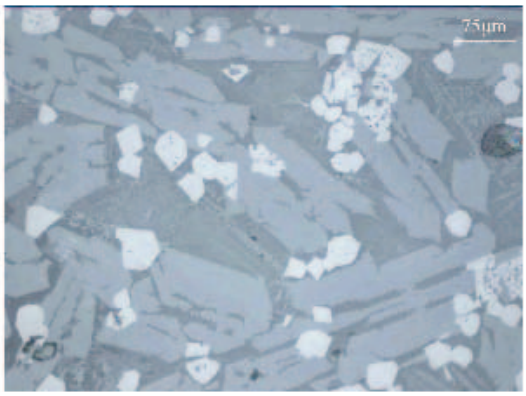


Figura 9. BA.16U.290. Cristales de magnetita.

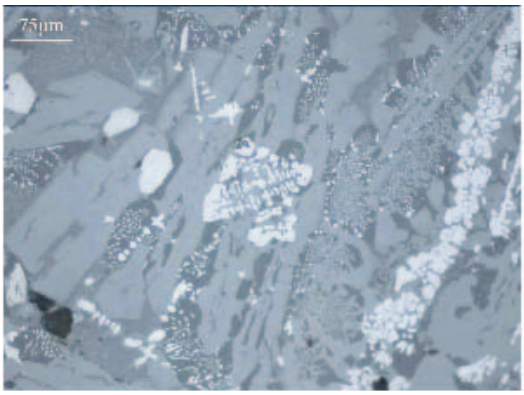


Figura 10. BA.16U.290.
Transformación wustita ◄► magnetita.

Figura 11. Escoria BA.16V.201.

En esta escoria se observan dos zonas diferenciadas, una dominada por cristales aciculares o plumiformes de fayalita, en los que se acumulan pequeños glóbulos de wustita (Fig. 12), y otra con fayalita tabular en cuya matriz de relleno se acumula wustita dendrítica (Fig. 13). Una microestructura de este tipo indica condiciones termoquímicas de formación variables.

La muestra identificada como BA.16V.203 pertenece a un fragmento de escoria de forma alargada, de color marrón (Fig. 14). En la superficie se observan abundantes manchas ferruginosas e inclusiones de tierra. Al corte, el material es de color gris metálico con oxidaciones internas y presenta una textura poco compacta con vesículas de pequeño tamaño. La escoria es magnética.

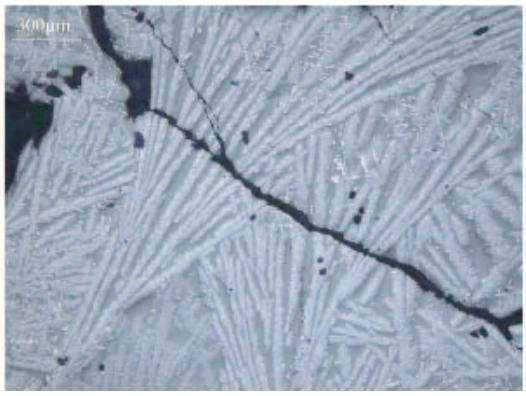


Figura 12. BA.16V.201. Grandes cristales de fayalita acicular.

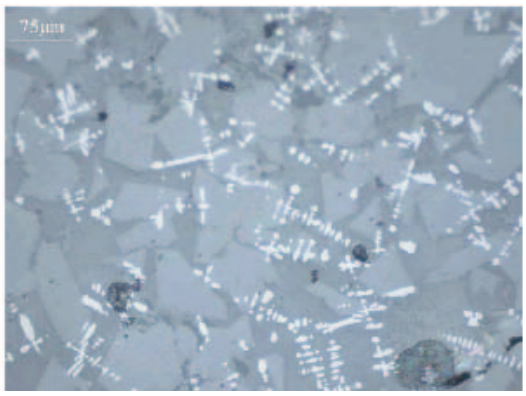


Figura 13. BA.16V.201. Fayalita tabular con wustita dendrítica.

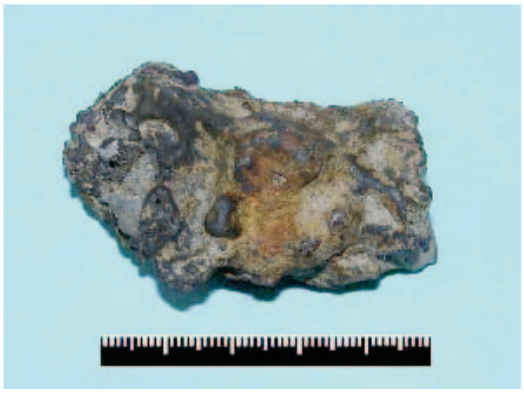


Figura 14. Escoria BA.16V.203.

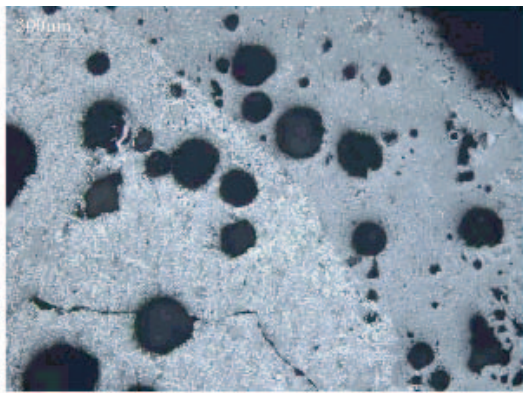


Figura 15. BA.16V.203. Vista general de la microestructura de la muestra.

La microestructura de la escoria muestra dos dominios (Fig. 15) que se diferencian entre sí por la proporción notablemente distinta de wustita, indicando dos momentos diferentes en el proceso de formación. El componente básico de la matriz en ambas zonas es la fayalita, con vidrio de relleno intersticial.

El fragmento de escoria BA.16V.212 es amorfo y tiene una superficie irregular, con oxidaciones, improntas de carbón vegetal, restos de tierra y cantos adheridos (Fig. 16). El material en factura es muy poroso y también presenta oxidaciones en su interior. No es magnético. La microestructura muestra cristales aciculares de fayalita (Fig. 17) en una matriz de vidrio. Abunda la wustita dendrítica (Fig. 18).

Figura 16. Escoria BA.16V.212.

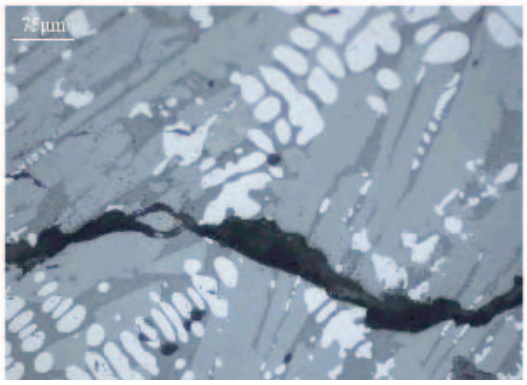


Figura 17. BA.16V.212. En gris, cristales aciculares de fayalita.

La muestra BA.16V.213 (Fig. 19) se ha extraído de un fragmento alargado de escoria, de sección ovalada y de color gris oscuro. Una de las caras es plana, con adherencias de óxido, tierra y pequeños cantos. La otra cara es irregular con una acusada concavidad en la zona central, producida posiblemente por algún resto de carbón vegetal. En la fractura se observa una textura bastante compacta, con algunos poros de pequeño tamaño y oxidaciones internas. Presenta magnetismo.

La microestructura es la de una escoria fayalítica con gran proporción de wustita globular (Fig. 20). Se observan fenómenos de disolución de la wustita en el silicato, formando una estructura de tipo eutéctico (Fig. 21). Se ha detectado también la presencia de partículas de hierro metálico y fenómenos de oxidación secundaria.

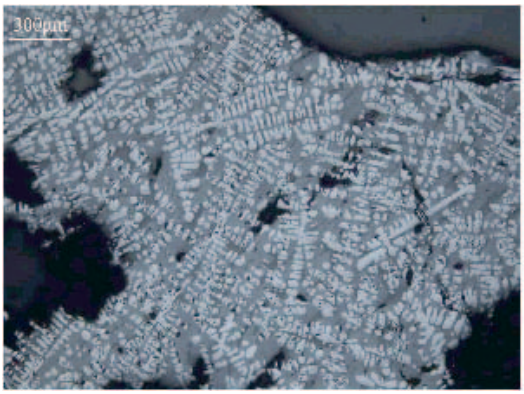


Figura 18. BA.16V.212. Wustita dendrítica.

Figura 19. Escoria BA.16V.213.

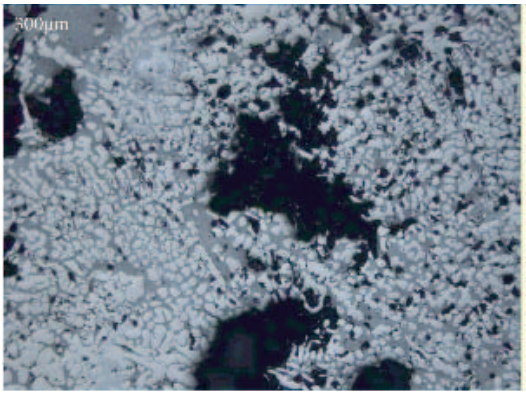


Figura 20. BA.16V.213. Vista general de la microestructura de la muestra.

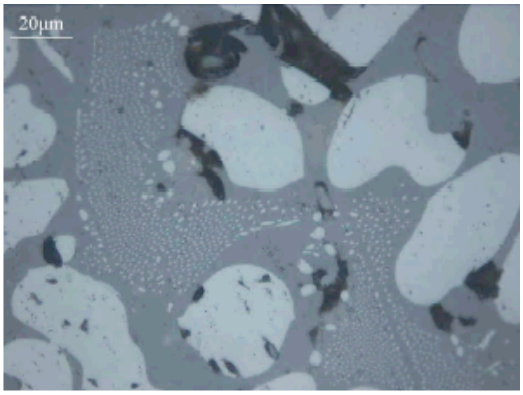


Figura 21. BA.16V.213. Fenómeno de disolución de la wustita en la matriz fayalítica.

La muestra BA.16V.214 (Fig. 22) es un pequeño fragmento de escoria que tiene una forma de tendencia aplanada. En su superficie se aprecia un nódulo del mismo material que lo cubre sólo parcialmente. La escoria en fractura es de color gris oscuro y tiene una textura bastante compacta, con pocas vesículas de pequeño tamaño. Presenta magnetismo.

Según se ha podido observar en la metalografía, hay presencia de granos de metal englobados en la escoria. La matriz está dominada por fayalita acicular y tabular (Fig. 23).

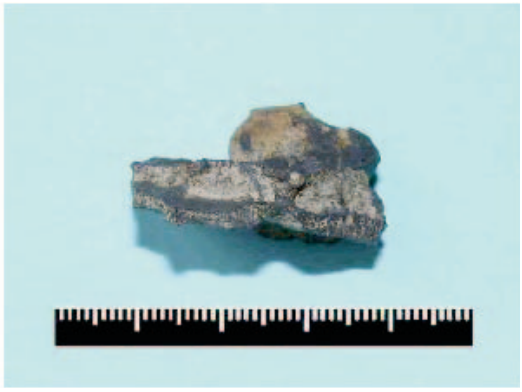


Figura 22. Fragmento de escoria BA.16V.214.

La última muestra analizada, BA.16V.216, pertenece a un fragmento amorfo de escoria, cuya superficie es irregular y está parcialmente vidriada. El material al corte es de color marrón-grisáceo y tiene una textura porosa, con vesículas de pequeño y medio tamaño (Fig. 24). Es ligeramente magnética.

Su microestructura está formada por grandes cristales de fayalita tabular, con wustita dendrítica alojada preferentemente en la matriz de vidrio de relleno (Fig. 25). Se han detectado abundantes partículas de hierro metálico dispersas en la matriz de la escoria (Fig. 26).

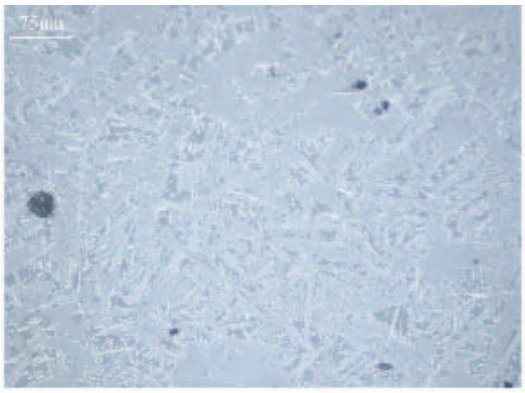


Figura 23. Matriz fayalítica.

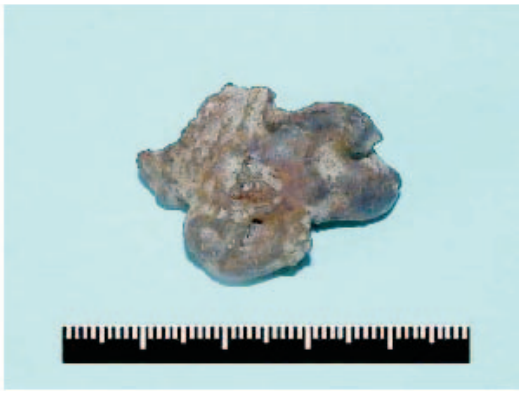


Figura 24. Escoria BA.16V.216.

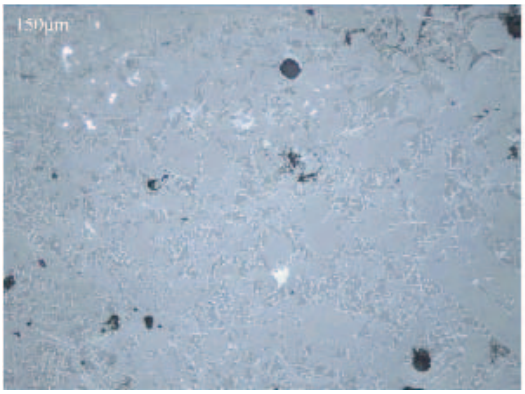


Figura 25. BA.16V.216. Vista general de la microestructura de la muestra.

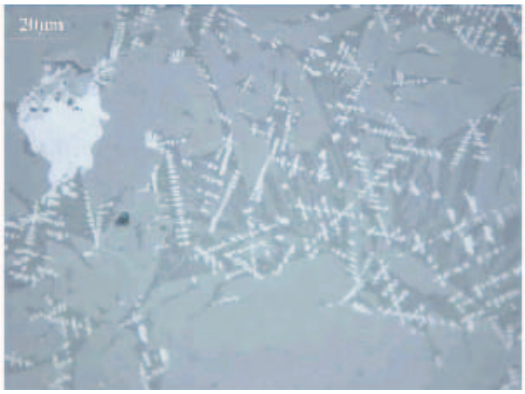


Figura 26. En la parte superior izquierda, inclusión de hierro metálico.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El programa de investigación arqueometalúrgica en Euskal Herria tiene como objetivo principal identificar las actividades metalúrgicas desarrolladas en la zona durante la Edad del Hierro, un tema hasta hora prácticamente inédito. El poblado de Basagain (Anoeta), gracias al elevado número de materiales arqueometalúrgicos proporcionados, nos permitirá empezar un estudio analítico destinado a aclarar el nivel tecnológico alcanzado por estas comunidades en las técnicas de obtención de metal y de producción de objetos llevadas a cabo durante los últimos siglos antes del cambio de Era. Este trabajo representa una primera aproximación al estudio de algunos de los materiales férricos procedentes de este yacimiento utilizando la microscopía óptica, que ha resultado ser una herramienta fundamental en los estudios microestructurales de estas muestras (Scott, 1991; Rovira y Gómez Ramos, 2003).

Entre los restos estudiados, las muestras de metal apenas han proporcionado resultados, debido a su avanzado estado de corrosión. Este problema será difícil de subsanar en lo que se refiere a las piezas procedentes de yacimientos al aire libre de la vertiente atlántica de Euskal Herria, ya que las características geológicas y climáticas hacen difícil la conservación de los elementos metálicos.

Por lo que concierne a las escorias, tanto su morfología como sus características microestructurales (Bachmann 1982), permiten avanzar la hipótesis de que se trate del resultado de operaciones de forja del hierro, o sea de materiales formados en el interior de la fragua, durante las operaciones de calentamiento del metal para ser trabajado en el yunque (Mangin, 2004).

En general, este tipo de materiales es muy heterogéneo, producido por la acumulación de las impurezas contenidas en el metal trabajado, durante los procesos de refino de las lupias o de los mismos objetos de hierro. Su morfología puede ser muy variada, aunque las escorias de forma plano-convexa y las de forma nodular, que representan el caso objeto de este estudio, se consideran más comúnmente el resultado de este tipo de operaciones. Todavía no se ha podido aclarar si el tamaño, el tipo o la forma de la escoria dependen de un factor en concreto o pueden ser asociados a una actividad específica en las operaciones de forja, como podrían ser la duración de una unidad de trabajo o el tipo de proceso llevado a cabo en el taller del herrero, debido a la gran cantidad de variables que pueden llegar a darse durante los trabajos de forja. Sin embargo, varios estudios están avanzando en este camino (Serneels y Perret, 2003; Renzi y Rovira, 2007; Renzi y Rovira, e.p.), logrando resultados interesantes que, a causa del número reducido de muestras analizadas y de los resultados todavía preliminares de nuestra investigación, no se podrán tomar en consideración para los materiales escoriáceos hallados en Basagain.

Otra cuestión importante es aclarar si el metal refinado en el poblado procedía de otro u otros talleres o si se producía *in situ.* A pesar de la cercanía de los depósitos de mineral de hierro —que se han localizado en el mismo monte en el que se asienta el poblado— hasta la fecha no se ha podido identificar claramente ningún fragmento de escoria de reducción de hierro. Esta falta de evidencia de producción primaria de hierro puede deberse a varias razones. Una de éstas, por ejemplo, puede depender del estado todavía preliminar de las excavaciones arqueológicas que se han concentrado en una zona en concreto del hábitat. De hecho, todos los materiales estudiados proceden de estructuras de habitación, proporcionando una visión que podría no ser representativa de toda la realidad arqueológica del poblado. Por tanto, hay que considerar también la opción de que las operaciones de reducción de hierro se realicen en un lugar próximo a las fuentes de abastecimiento del mineral, probablemente lejos de las zonas aterrazadas de viviendas, o fuera de los límites del poblado.

Pero, en el estado actual de la investigación, los resultados obtenidos sólo nos permiten suponer que Basagain era un taller de refino de hierro bruto —aunque faltan en el registro arqueometalúrgico las pequeñas escamas y bolitas de escoria características de las operaciones de afino de lupias— y probablemente también de producción de objetos, como parece sugerir la presencia de piezas metálicas. Además, el estudio arqueometalúrgico de estos materiales está todavía incompleto, ya que debería realizarse un examen más profundo empleando técnicas analíticas que no proporcionen solamente información sobre la microestructura de las muestras, sino también sobre sus fases estructurales y la composición químico-mineralógica de sus fases estructurales. Hace falta un muestreo más amplio para caracterizar con más precisión este yacimiento, y es fundamental ampliar la información obtenida con estudios analíticos más exhaustivos, además de realizar nuevos trabajos de prospección, con el objetivo de localizar tanto los lugares de extracción del mineral como las posibles estructuras pirometalúrgicas utilizadas para los trabajos de reducción del mineral, y obtener información de todas las fases de la cadena operativa que pudieron darse en este poblado durante los últimos siglos antes del cambio de Era.

BIBLIOGRAFÍA

BACHMANN, H.-G. 1982: *The identification of slags from archaeological sites.* Institute of Archaeology. London.

MANGIN, M. (dir.) 2004: *Le fer.* Errance. Paris.

PEÑALVER, X. 1994-2006: "Poblado fortificado de Basagain (Anoeta)". *Arkeoikuska.*

PEÑALVER, X. 2001a: "El Bronce Final y la Edad del Hierro en la Euskal Herria atlántica: cromlechs y castros". *Complutum* 12: 51-71.

PEÑALVER, X. 2001b: *El hábitat en la vertiente atlántica de Euskal Herria. El Bronce Final y la Edad del Hierro.* Kobie, suplemento nº 3. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao.

PEÑALVER, X.; SAN JOSE, S. 2003: *Burdin Aroko herri harresituak Gipuzkoan.* Bertan 20. Diputación Foral de Gipuzkoa. Donostia.

RENZI, M.; ROVIRA, S. 2007: "Escorias metalúrgicas del yacimiento fenicio de La Fonteta (Alicante). Estudio preliminar". *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría (Girona 2005).* Girona: 163-171.

RENZI, M.; ROVIRA, S. (en prensa): "Slags of Early Iron production in the Iberian Peninsula". *36th International Symposium on Archaeometry. Symposium Proceedings* (Quebec 2006).

ROVIRA, S.; GÓMEZ RAMOS, P. 2003: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. III Estudios metalográficos.* Madrid.

SAN JOSE, S. 2005: "Los inicios de la metalurgia del hierro en la Protohistoria de Gipuzkoa". *I Congreso Internacional de Paleosiderurgia y Recuperación de Patrimonio Industrial. Hierro. Historia y Patrimonio (Donostia 2005).* Donostia: 63-76.

SAN JOSE, S. 2006: "Introducción a la metalurgia de la Protohistoria de Gipuzkoa. Estado de la cuestión". *Actas do III Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu (Porto 2005).* Porto: 125-137.

SCOTT, D.A. 1991: *Metallography and microstructure of ancient and historic metals.* The J. Paul Getty Trust. Singapur.

SERNEELS, V.; PERRET, S. 2003: "Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains". *Achaeometallurgy in Europe. Proceedings of the International Conference (Milano 2003).* Vol. 1. Milano: 469-478.

ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO: LA HERRERIA MEDIEVAL DE L'ESQUERDA, SIGLOS XII-XIII DC (RODA DE TER, CATALUNYA)

ARCHAEOMETALLURGYCAL STUDY: THE MEDIAEVAL SMITHY OF L'ESQUERDA, 12TH -13TH CENTURIES (RODA DE TER, CATALUNYA)

ORIOL AMBLÀS NOVELLAS[1], JUDIT MOLERA[2], IMMA OLLICH CASTANYER[3]

(1) Museu Arqueològic de l'Esquerda, c/ Dr. Fleming, 5. 08500 Vic (Barcelona).
(2) Universitat de Girona.
(3) Universitat de Barcelona - Museu Arqueològic de l'Esquerda.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es el estudio metalográfico de 15 objetos metálicos encontrados en una herrería del siglo XII-XIII d.C. descubierta en el yacimiento arqueológico ibérico y medieval de l'Esquerda (Roda de Ter, Catalunya) en 1998 por un equipo de investigación de la Universidad de Barcelona dirigido por la Dra. Imma Ollich. Las técnicas metalográficas utilizadas han sido: microscopía óptica metalográfica, microscopía electrónica de rastreo (MER), espectrometría de dispersión de rayos X (EDX), análisis de microdureza Vickers y espectrometría de emisión óptica. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que en el taller medieval de l'Esquerda se trabajaba con un hierro muy puro y con un gran conocimiento de las técnicas de soldadura. Además, el hallazgo de un resto de fundición de bronce confirma la hipótesis de la manufactura de otros metales. Para concluir hemos realizado la recreación de algunos objetos, siguiendo los parámetros de la arqueología experimental para poder comprender mejor las técnicas de fabricación.

ABSTRACT

The goal of the present research work is the metallographic study of 15 metallic objects found in a 12th-13th centures smithy, in the l'Esquerda Iberian and Mediaeval site (Roda de Ter, Catalunya), which was found in 1998 by Dr Imma Ollich and her research group from the University of Barcelona. For the present study we used some different metallographic techniques: Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), Vickers Micro Hardness Analysis and Optical Emission Spectroscopy (OES). The results obtained show that in the l'Esquerda mediaeval workshop a very pure iron was used and that it was treated with a high knowledge on welding techniques. Furthermore, the find of a bronze smelting remain confirms that other metals were manufactured in the l'Esquerda mediaeval workshop. In the present study we also show the recreation of some of the objects to better understand their fabrication techniques. We reproduce the items following the archaeology experimental parameters.

Palabras clave: Edad Media, Metalurgia, Herrería, "Ferreria", acero, cobre, bronce, técnicas de fabricación, Cataluña, Microscopía Optica Metalográfica, MER, EDX, Microdureza Vickers, Espectrometría de Emisión Óptica.

Key words: *Key words: Middle-Age, Metallurgy, Smithy, Blacksmith, steel, copper, bronze, fabrication technique, Catalunya, Optical microscopy, SEM, EDS, Vickers micro hardness analysis, Optical emission spectroscopy (OES).*

I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento ibérico y medieval de l'Esquerda se encuentra situado en la cima de una península, al paso del río Ter por la comarca de Osona, en Roda de Ter, Catalunya (Fig.1).

Figura 1. Vista aérea del yacimiento de l'Esquerda y localización de la herrería en el poblado medieval.

Las excavaciones arqueológicas han permitido documentar, hasta el momento, un largo período de ocupación entre los siglos VIII a.C. hasta inicios del siglo XIV d.C. Se localizan restos de cabañas en el bronce final, siglo VIII a.C. Un *oppidum* ibérico construido entre los siglos V-IV a.C, destruido en el siglo III a.C. y reconstruido en el siglo II-I a.C. Después de un período sin información, unos silos amortizados a comienzos del siglo VII d.C. constatan una presencia visigoda. A fines del siglo VIII d.C., los francos carolingios fortifican la Roda *civitas* siguiendo el curso del Ter, frente a los ataques musulmanes. A partir de los siglos X-XI d.C., el poblado alto medieval se estructura alrededor de una iglesia. Crecimiento del poblado medieval entre los siglos XII y XIII y abandono a inicios del siglo XIV (Ollich Castanyer, 2001: 9). En el periodo de crecimiento del poblado medieval entre los siglos XI y XIII documentamos una herrería, situada al oeste del yacimiento, que es objeto del presente estudio.

II. LA HERRERÍA MEDIEVAL (H-40)

La herrería medieval de l'Esquerda H-40 fue excavada en 1998 por el Equipo de Excavaciones Arqueológicas de l'Esquerda, bajo la dirección de la Dra. Imma Ollich del Departamento de Historia Medieval, Paleografía y Diplomática de la Universidad de Barcelona[1]. Se trata de una habitación de 4 x 4 m excavada en la roca en la que se hallan restos de estructuras relacionadas con la forja del hierro y de la fundición ocasional del bronce y otros metales[2]:

Forja del hierro:

1. Fragua: restos de losas y piedras enmarcan dos fuegos en el centro y norte de la habitación.
2. Base de un yunque: situado delante de una de las fraguas: unas piedras forman una estructura.
3. Tanque para agua: restos carbonizados de un elemento de madera de forma circular.

Fundición del bronce:

4. Horno: bajo de arcilla cocida, adosado en la pared sur con restos de escorias y carbón relacionado.
5. Canal de aire: aprovechando una diaclasa natural en la roca y debajo el horno, en dirección norte-sur.

---

1. Actualmente Ollich está dirigiendo un proyecto de investigación sobre metalurgia, financiado por el MEC: *Arqueología Experimental. Tecnologías de producción metalúrgica asociadas a la agricultura medieval.* DGICYT, HUM. 2004-05280.

2. Ampliamente estudiado por Ollich, Amblàs, Ocaña, Rocafiguera, Goula (2006): *Desperta Ferro! Vida quotidiana, treball, comerç i guerra a l'Esquerda. Catàleg dels metalls del Museu Arqueològic de l'Esquerda.* Publicacions del Museu Arqueològic de l'Esquerda (Berikars 1), Roda de Ter: 21-29.

III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Entre los restos de estructuras halladas en la herrería de l'Esquerda se encuentran 42 objetos de metal, de los cuales se han analizado 15 piezas representativas en el laboratorio de los Servicios Técnicos de la Universidad de Girona.

Se han preparado probetas metalográficas de cada pieza, algunas de ellas en diferentes secciones, y se han observado al microscopio metalográfico y electrónico de rastreo (MER) para determinar la microestructura de los metales y ver cuales podían ser las técnicas utilizadas en su fabricación. Además, se ha analizado la composición química a través del análisis de dispersión de rayos X (EDX) acoplado al microscopio electrónico de rastreo (MER) y mediante espectrómetro de emisión óptica (OES).

Figura 2. Vista general de la herrería medieval (H-40) del siglo XII-XIII d.C. de l'Esquerda durante la excavación arqueológica en 1998.

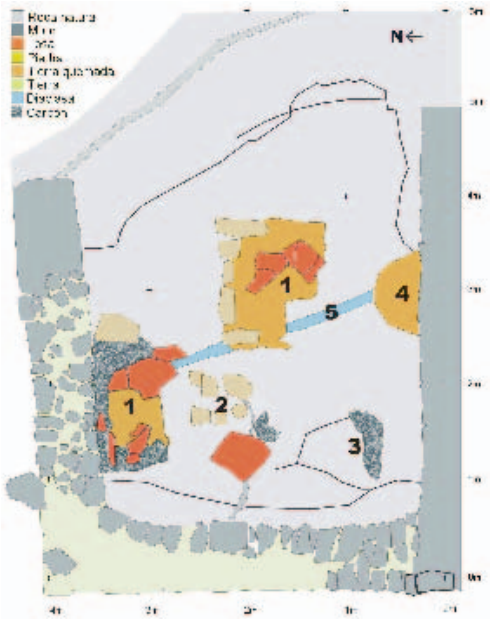


Figura 3. Planta de la Herrería medieval H-40

IV. RESULTADOS

Acero

Barra o "vergallina" (Fig. 4): Producto semimanufacturado de 260 mm de longitud, de 9 a 4 mm de ancho y de un grosor de 5mm. El estudio metalográfico de un corte transversal de la pieza muestra que la barra está compuesta por tres piezas de acero de estructura diferente y soldadas entre sí por el sistema de "soldadura a la calda" o "blanc soudant" (Fluzin, 2001: 346).

Figura 4. Barra o "vergallina" E98-32025-2533 encontrada en la Herrería H-40 de l'Esquerda.

La “vergallina” tiene una estructura ferrítica con inclusiones de carburos, donde se pueden observar las cuatro partes bien diferenciadas.

Zona A: Pobre en Carbono, los granos de ferrita son de mayor tamaño que en las otras zonas y se observan inclusiones silíceas que son propias de la depuración del metal en su origen.

Zona B y C: Más ricas en Carbono y Vanadio (la presencia del Vanadio parece ser que está asociado a las zonas de soldadura). Las bandas de cristales de ferrita con inclusiones de carburos, situados entorno de los granos, aparecen formando unas líneas que indican un trabajo en caliente. (Fernández González, 1988:91-92).

Zona D: Soldaduras ricas en Carbono con una estructura más pequeña. Cerca de la soldadura D1 los granos de ferrita son más grandes a causa de la descarburación. Y alrededor de ésta se observan inclusiones silíceas en línea.

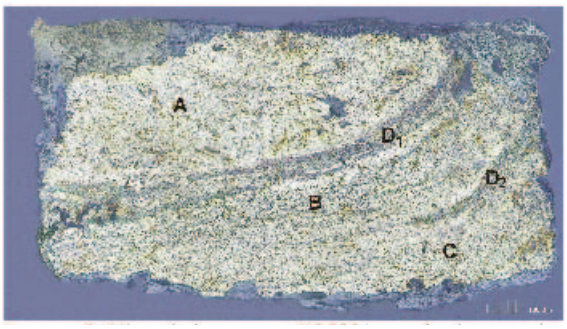


Figura 5. Vista de la muestra E2533/a en el microscopio óptico metalográfico.

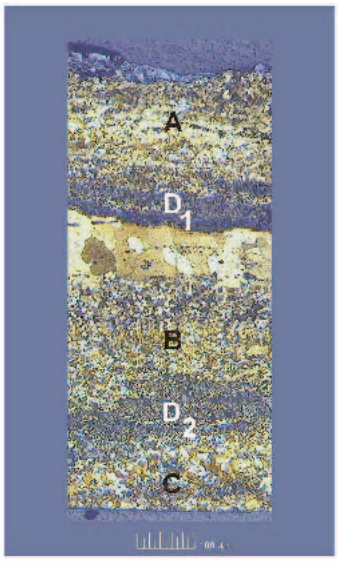


Figura 6. Vista de la muestra E2533/b en el microscopio óptico metalográfico.

La composición global por espectrometría de emisión óptica (OES) indica que en las zonas B y C se trata de un acero de 57,7% Hierro, 6,6% Sílice, 2,5% Níquel y 0,16% de Carbono.

Program : F-10
Comment : Low alloy steel
Single spark(s)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.1628	6.6000	0.8475	0.1560	0.0658	0.0129	0.0357	2.5059	0.6095
C0	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.0008	0.0005	0.0720	0.0407	0.0068	0.1719	0.0300	0.0290	0.1200
Zr	Ca	Ce	Ta	B	Zn	La	Fe	
%	%	%	%	%	%	%	%	
0.0039	0.0156	0.0858	0.0420	0.0108	0.0009	0.1242	57.77	

Tabla 1. Resutados del análisis por espectrometría de emisión óptica (OES) de la muestra E 2533.

Hoz (fig. 7): Herramienta cortante destinada a las actividades agrícolas. Hoz de pequeñas dimensiones de 280 mm de longitud, de 30 a 3 mm de ancho y de 6 a mm de grosor. Para conocer la composición global de la pieza se ha realizado un corte transversal en la extremidad de la herramienta.

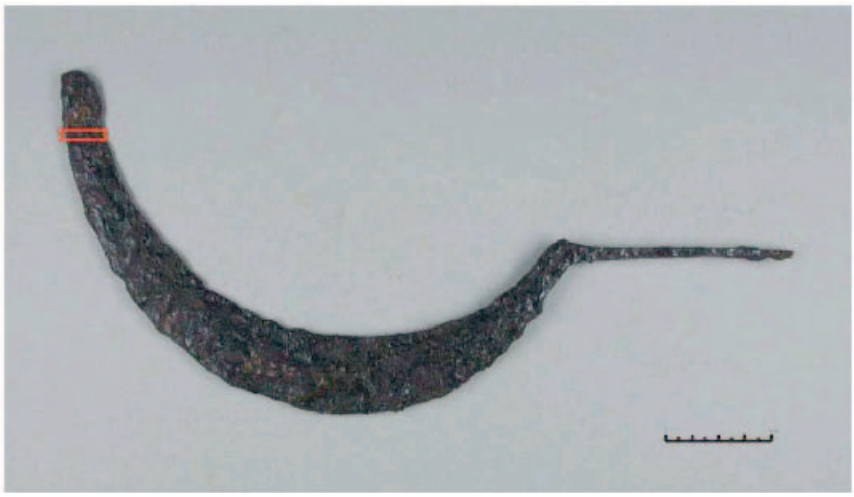


Figura 7. Hoz E98-32013-2492 encontrada en la Herrería H40.

La observación metalográfica muestra una estructura con granos de ferrita y perlita en el corazón de la pieza, así como una estructura de granos grandes de ferrita en el exterior que relacionamos con una posible descarburación de la pieza.

También el análisis permite ver unas inclusiones inclusiones silíceas deformadas en el sentido del martilleo que aparecen en la estructura ferrítica.

La microestructura del corazón de la pieza parece afectada por las altas temperaturas y se interpreta con una posible fusión de las fronteras de los granos de ferrita por acumulación de soluto de carbono.

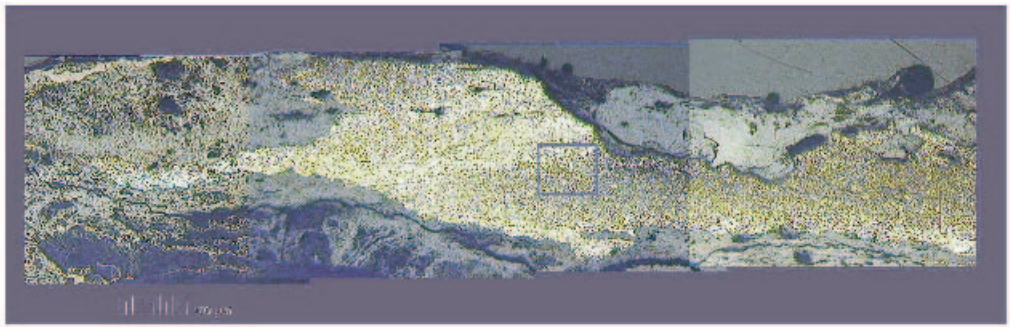


Figura 8. Vista de la muestra E2492 en el microscopio óptico metalográfico.

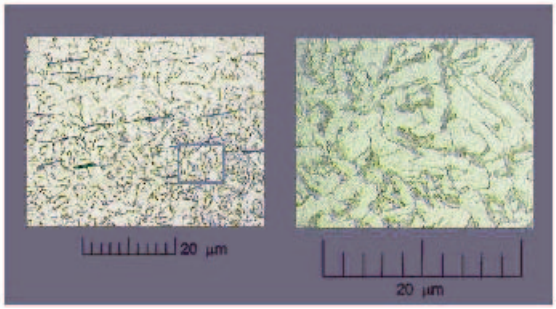


Figura 9. Hoz E2492 detalle.

Clavo (Fig. 10): clavo de acero dulce de 77 x 8-2 x 5-2 mm. El estudio metalográfico de un corte transversal de la punta del clavo, permite observar una estructura de granos grandes de perlita alrededor de los cuales, los granos de ferrita se forman con orientaciones paralelas hasta el interior de la perlita. Mientras en el exterior se observa una descarburación con granos de ferrita e inclusiones de carburos.

Vemos en el exterior: una estructura de posible bainita superior (A) y en el corazón de la pieza se observa un fenómeno característico de estructura de Windmastatten (B) que indica un enfriamiento relativamente rápido (Fernández González, 1988: 44).

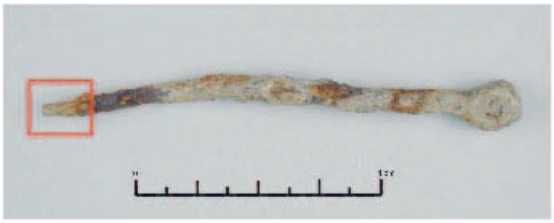


Figura 10. Clavo E98-32002-1111.

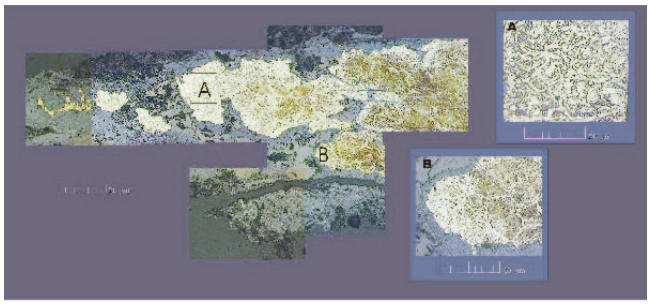


Figura 11. vista general y detalles de la muestra E1111 en el microscopio óptico metalográfico.

Boquilla de fuelle (Fig. 12): pequeña boquilla de fuelle de sección circular y forma cónica. De 55 mm de longitud, de 20 a 14 de ancho y un grosor de la lámina de 3 mm. La pieza que se encuentra en un estado avanzado de corrosión, por lo cual sólo identificamos una parte pequeña de metal (A). Este objeto presenta además una soldadura en cobre (B) en las que vemos inclusiones dendríticas de cuprita (Cu2O) con porosidades (Bi). El estudio de la pequeña parte de hierro conservada (Ai), permite observar que tiene una estructura ferrítica con inclusiones de carburos a su alrededor.

Interpretamos la presencia de esta soldadura como un procedimiento de unión del hierro con otro de punto de fusión más bajo, en este caso el cobre[3].

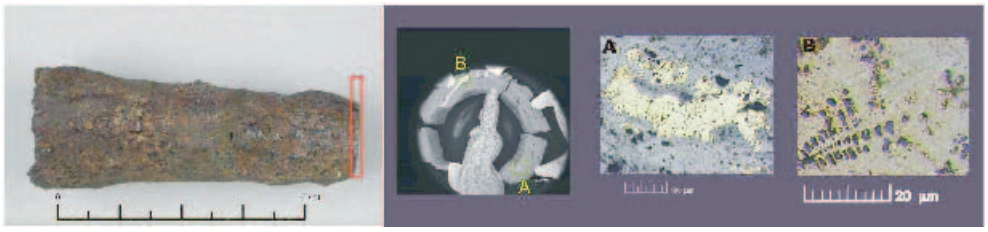


Figura 12. Boquilla de fuelle E98-32008-1457. Vista en el SEM y detalles observados en el MOM.

Cobre y aleaciones

Hebilla de cobre (Fig. 13): Placa de hebilla de cobre de 34 mm de longitud, 12 mm de ancho y 3 mm de grosor. El objeto ha perdido parte del elemento de sujeción a la hebilla propiamente dicha. En el estudio macroscópico se observan unos motivos decorativos realizados con punzones de punta triangular en el anverso de la pieza. También se usó otro punzón oval para fabricar los agujeros de sujeción de la hebilla.

3. Este sistema de unión es muy conocido en la forja tradicional catalana. Utilizado como falsa soldadura o "solda groga" (soldadura amarilla), denominado así sobre todo cuando el metal de unión es el latón, de color amarillento.

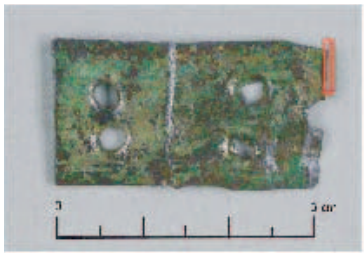


Figura 13. Hebilla de cobre E98-31005-414.

El estudio de un corte transversal de la hebilla, permite ver una orientación de los cristales maclados de cobre. Esta microestructura es típica de un tratamiento térmico de recocido de recristalización con un posterior trabajo de deformación (Pernot, 1996: 42).

El análisis global por EDX, efectuado en la muestra, determina que se trata de cobre puro con inclusiones de plomo y arsénico. En el estudio en el microscopio electrónico de rastreo (MER) observamos (Fig. 14) que este tipo de inclusiones presentan la misma dirección de trabajo de deformación causada por el martilleo[4].

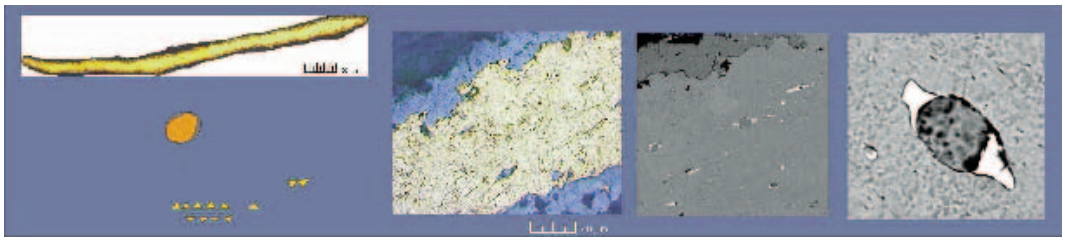


Figura 14. Hebilla de cobre E414. Marcas de punzon. Vista al microscopio óptico y en el MER.

Desecho de bronce (Fig. 15): De 47 mm de longitud, de 14 a 7 mm de ancho y un grosor de 2 mm. El análisis elemental por EDX muestra que se trata de un bronce ternario: 73% Cu, 23% Sn y 3% Pb[5]. Este tipo de aleaciones es muy parecida a la utilizada para fabricar campanas[6]. Rovira observa que en el diagrama de fases de un bronce de campanas se observa una línea de retención de 796ºC solidificado por una fase beta con una composición del 22% de estaño (Rovira Llorens, 2003:22-23).

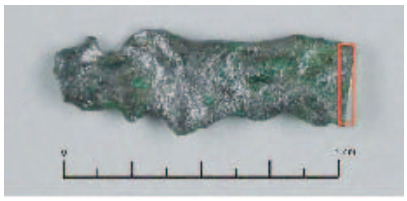


Figura 15. Desecho de Bronce E98-32010-1538.

También este tipo de aleación podría ser utilizado para otro tipo de aplicaciones, como ha señalado M. Pernot, se podría tomar en consideración el uso de este metal para la fabricación de espejos, como sucede en época romana (Pernot, 1996: 43).

El estudio metalográfico de este tipo de objeto arqueológico ha permitido confirmar que se trata de un desecho del trabajo de fundición (Fig. 16). Las dendritas o estructuras en forma de espina muestran que la pieza se enfrió de forma rápida después de la fundición, en la cual no se empleó ningún otro tratamiento posterior. Además en el estudio se descubrió un pequeño hilillo de cobre que parece que no llegó a fundirse con el resto de aleación, como se aprecia en la imagen.

Observando la microestructura en el microscopio electrónico de rastreo (MER) se aprecia que efectivamente se trata de un desecho de bronce en bruto de colada, en la que vemos tres fases: A) fase alfa rica en cobre (dendritas), B) fase delta rica en estaño (matriz), C) inclusiones de plomo.

---

4. Este fenómeno se produce a causa del origen menos duro del plomo que la propia matriz rica en cobre que se encuentra inalterado por la acción mecánica. (Fernández, T. 1988: 42).

5. Como comenta Pernot, M. en su artículo “Archéometallurgie des alliages à base cuivre, techniques et ateliers de fabrication” p. 42–52 Teruel, 1996, el hecho de añadir plomo en la aleación de base cobre es voluntaria cuando ésta sobrepasa el 3%. “On considère généralment qu’une addition est très certainement volontaire au-dessús de 3% environ; en dessous de 0,5%, il s’agit de traces non intentionelles […]” p. 43. Teruel, 1996.

6. Este tipo de bronce es frágil y no puede ser trabajado por martilleo. Es precisamente el estaño el que da sonoridad a las campanas.

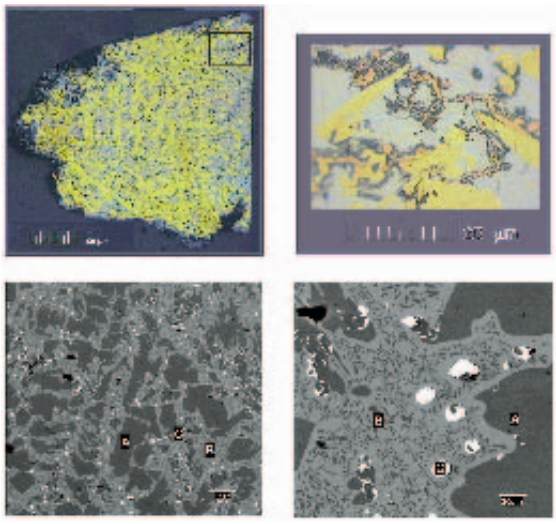


Figura 16. Desecho de Bronce E1538 vistas en el microscopio óptico metalográfico e imágenes en el microscopio electrónico de rastreo (MER).

V. ARQUEOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el estudio de Arqueología Experimental, llevado a cabo en el Área de Experimentación Arqueológica de l'Esquerda, se ha recreado una aleación de bronce rico en estaño. El proceso de fundición se ha llevado a cabo en un bajo horno construido recreando el bajo horno descubierto en la herrería medieval H-40, siguiendo los parámetros de la arqueología experimental (Fig. 17).

Figura 17. Arqueología Experimental. Área de Recerca Experimental de l'Esquerda. Análisis metalográfico de un desecho de la recreación.

También se ha recreado una soldadura "a la calda", reconstruyendo la fragua encontrada en la herrería medieval de l'Esquerda. En ella se han soldado tres piezas de hierro tomando como referencia datos etnográficos. El estudio ha permitido comparar las muestras halladas en l'Esquerda con las de la experimentación, observándose los mismos parámetros correlativos.

VI. CONCLUSIONES

Confirmando la hipótesis efectuada por los arqueólogos, en la herrería medieval de l'Esquerda encontramos un artesanado local que combina el trabajo del hierro forjado con la fabricación de objetos de otros metales, como el cobre, el bronce y ocasionalmente el plomo y el peltre[7].

7. Los resultados del análisis del plomo y del peltre no se presentan por estar en proceso de estudio.

El herrero de l'Esquerda trabajaba un acero bajo en carbono y apuntamos la posibilidad de que practicara una forja de reciclaje[8], utilizando diferentes tipos de aceros de entre 0,10% a 0,18% de Carbono. Se han identificado dos tipos de soldadura: a) una soldadura que aprovecha la capacidad de auto-soldadura del hierro mediante el sistema denominado soldadura "a la calda" y b) otro sistema, conocido como falsa soldadura que por adición de otro metal de punto de fusión menor, en este caso el cobre, actúa como sistema de unión. Muchas de las microestructuras observadas en los objetos de hierro se aprecian altas temperaturas y un alto proceso de descarburación.

La identificación de un desecho de bronce en estado bruto de colada, parecido al tipo de bronce utilizado para la fabricación de campanas y la hebilla de cobre decorada, demuestra el trabajo de otros metales y que nos encontramos con una mano de obra cualificada. Por otro lado, el estudio de la arqueología experimental demuestra que no hace falta una gran infraestructura para trabajar dichos metales.

BIBLIOGRAFÍA

AMBLÀS, O.; OCAÑA, M.; OLLICH, I. 2003: "Metalls i metal·lúrgia a l'Esquerda medieval (Roda de Ter, Osona)" en *Seminari sobre Eines i Instrumental Metàl.lic Medieval (Museu Arqueològic de l'Esquerda, Roda de Ter, juny 2002):* 31-39.

FERNANDEZ, T. 1988: *Metalografía de aceros y fundiciones.* Dpto. de Ingenieria Mecánica y Expresión Gráfica de la Universidad de Málaga. Málaga. 181 p.

FLUZIN, P.; BENOIT, P.; KIENON, H.T; KIETHEGA, J.B.; EL KEDIM, O. 1995: "Apports de l'archéometrie à la restitution de la chaîne opératoire des procédés directs à partir des vestiges archéologiques: intérêts des comparaisons ethnoarchéologiques" en MAGNUSON G. (ed): 56-64.

FLUZIN, P. 2001: "Apport de l'archéometrie à la restitution de la chaîne opertoire en sidérurgie; matériaux archéologiques et procédés. Etude métallographiques" en *Actes del 6è curs d'Arqueologia d'Andorra 2000 del 2 d'octubre al 5 d'octubre de 2000. L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX.* Govern d'Andorra: 63-78.

GIL, F.J.; MANERO, J.M. 2005: *Metalografía.* Universitat Politècnica de Catalunya.

OCAÑA, M.; AMBLÀS, O. 2005: *Quadern de camp.* Area de Recerca Experimental de l'Esquerda.

OLLICH, I.; AMBLÀS, O.; OCAÑA, M.; ROCAFIGUERA, M.; GOULA, M.C. 2006: *Desperta Ferro! Vida quotidiana, treball, comerç i guerra a l'Esquerda.* Catàleg dels metalls del Museu Arqueològic de l'Esquerda. Berikars 1. Publicacions del Museu Arqueològic de l'Esquerda. Roda de Ter.

OLLICH, I.; ROCAFIGUERA, M. 2001: *L'Esquerda 2500 anys d'Història. 25 anys de recerca.* Ed. Fundació Privada l'Esquerda.

OLLICH, I.; OCAÑA, M.; ROCAFIGUERA, M. 1998: *Experimentació Arqueológica sobre conreus medievals de l'Esquerda, 1991-1984: Arqueologia experimental: aplicació a l'agricultura medieval mediterrànea.* Col. Monografies d'Arqueologia medieval i Postmedieval, nº 3. Osona. Departament d'Història Medieval, Paleografia i Diplomàtica. Facultat de Geografia i Història. Divisió de Ciències Humanes i Socials. Universitat de Barcelona. Barcelona.

8. Philippe Fluzin habla de la forja "de recyclage" donde se procede a la fabricación de objetos con muchas soldaduras con elementos de tallas y naturaleza del acero variables. (Fluzin, P. 2001: 347)

OLLICH, I.; OCAÑA, M.; RAMISA, M.; ROCAFIGUERA, M. 1995: *A banda i banda del Ter. Història de Roda.* Col. L'Entorn. Eumo Editorial. Ajuntament de Roda de Ter. Roda de Ter.

PEREZ, J.; AGUAROD, C.; LAPUENTE, M.P.; FELIÚ, M.J.; PERNOT, M: 1996: *Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos.* Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología IV. Teruel.

PERNOT, M. 2002: "Mise en forme des alliages cuivreux et archéométallurgie" *La Revue de Métallurgie:* 97-111.

PERNOT, M.; ROLLEY, C. 1999: "Techniques antiques du bronze 2. Méthodes d'étude-procédés de fabrication". *CRTGR* 15. Dijon, 78 pág.

PERNOT, M.; ROLLEY, C. 2000: "Le bronze et les bronzes–le rôle de l'archéométrie". *Dossiers d'Archéologie-Archéometrie,* 253, mai 2000: 62-69.

REYNOLDS, P.J. 1988: *Arqueologia experimental. Una perspectiva de futur.* Ed. Eumo. Vic.

ROVIRA, S. y GOMEZ, P. 2003: *Las primeras etapas metalúrgicas en la península ibérica. III. Estudios metalógraficos.*Universidad Complutense de Madrid. 208 pág.

ROVIRA, M.C. 1997: "De bronzistes a ferrers: dinàmica de la metal·lúrgia protohistòrica al nord-est peninsular a Cota Zero". *Revista d'Arqueologia i Ciència,* 13. Desembre. Eumo Editorial: 59-70.

SANCHO, M. 1999: *Homes, fargues, ferro i foc. Arqueologia i documentació per a l'estudi de la producció de ferro en època medieval.* Col. Cultura, Tècnica i Societat. Núm. 17. Associació/Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. Ed. Marcombo Boixareu Editores. Barcelona.

TYLECOTE, R.F. 1987: *The Early History of Metallurgy in Europe.* Longman. London.

ALGUNOS ASPECTOS DE LA TECNOLOGÍA DE LAS HOJAS DE ESPADA ROPERA EUROPEA EN LOS S. XVII Y XVIII

SOME ASPECTS OF THE TECHNOLOGY OF THE 17TH AND 18TH CENTURIES EUROPEAN RAPIER SWORD BLADES

MARC GENER

Instituto de Historia. Centro de Humanidades y Ciencias Sociales (CSIC). c/ Albasanz 26-28. 28037 Madrid.
E-mail: davor7@iname.com

RESUMEN

La espada ropera aparece como un elemento del atuendo masculino en un ámbito geográfico europeo y en un periodo que abarca, aproximadamente, entre los s. XVI y XVIII. Se trata de un arma que responde en su concepto y en su elaboración a una serie de condicionantes y necesidades, funcionales y de otros tipos, parte de las cuales exigen un comportamiento determinado de los materiales que componen la pieza. En este trabajo se presentan algunos resultados de una investigación en curso orientada a estudiar las soluciones tecnológicas que se aplican a la fabricación de hojas de espada ropera, y a determinar cuáles son las necesidades que exigen la implementación de estas soluciones específicas. Se reflexiona también sobre cómo la adecuación del objeto a su función, definida en su contexto histórico, determina la percepción de la calidad de aquel. Para ello se estudian algunos fragmentos de hoja de espada ropera de los s. XVII – XVIII mediante técnicas metalográficas para extraer información sobre la tecnologías utilizada en su fabricación y relacionarla con las propiedades que se buscaba obtener de este objeto, con el fin de que pudiera cumplir adecuadamente su cometido.

ABSTRACT

The rapier sword appears as an element of the male attire in a European geographical framework, comprising a period approximately between the 16th and the 18th centuries. This weapon, in concept and elaboration, is the answer to functional requirements and needs, some of which demand a specific behaviour for the materials composing the instrument. In this work are presented some results of an ongoing research focused in studying the technological solutions applied to the manufacture of rapier sword blades and in determining the needs that ask for the implementation of these specific solutions. It is also discussed how the adequateness of an object to its function, defined in its historical context, determines the perception of its quality. Some fragments of 17th -18th c. rapier sword blades are examined using metallographic techniques in order to obtain information regarding the technology involved in their production and relate it with the properties that were sought after for this type of objects with the end of making them perform their intended task adequately.

Palabras clave: metalografía, metalurgia, acero, espada, ropera, forja, calidad percibida, edad moderna, tecnología histórica.

Key words: *metallography, metallurgy, steel, sword, rapier, forge, perceived quality, Renaissance, historical technology.*

I. INTRODUCCIÓN

La actividad humana modifica su entorno en multitud de aspectos que dejan una huella, de un modo u otro, en el registro arqueológico. Este registro es el que llega a nosotros, con mejor o peor fortuna, y constituye la base sobre la cual se trabaja, estudiándolo e interpretándolo con el fin de reconstruir de la mejor manera posible la circunstancia que lo produjo. Parte de este registro lo compone la cultura material: objetos manufacturados producidos por un grupo humano, o sus huellas. Esta cultura material es, por su propia naturaleza, el producto de toda una serie de factores que influencian múltiples aspectos del entorno que la genera.

Olin (Olin, 1982:19) define la arqueometría como *"application and interpretation of natural science data in archaeological and art historical studies"* ("aplicación e interpretación de datos proporcionados por las ciencias naturales a los estudios de arqueología e historia del arte"). Y lo cierto es que, fieles a la letra de esta definición, muchos estudios comprendidos en este campo se limitan a aplicar algún tipo de método analítico sobre una pieza arqueológica y presentar los resultados del análisis. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en el fondo, el sujeto de nuestro estudio no es tanto el objeto en sí, como la circunstancia (entendida en el sentido más amplio) humana que produce ese objeto. Así, si vemos el objeto como una respuesta a una necesidad, entendiendo por necesidad una demanda que puede ser debida a multitud de factores que se extienden por toda la escala de lo vital y lo social, es esta necesidad la que nos proporciona información sobre el contexto humano y social del objeto, lo cual es al fin y al cabo, el sujeto último de nuestro estudio. El objeto es en este caso el vehículo mediante el cual intentamos alcanzar una mejor comprensión de esa circunstancia, es una de las herramientas de que disponemos para obtener un mejor conocimiento del pasado, a veces la única. La arqueometría nos proporciona datos sobre el objeto, pero los datos desnudos no nos dicen nada, son números, listas de elementos, estadísticas… La arqueometría, con toda su frecuente complejidad técnica, aspira a mucho más que a ser una caja negra en la que por un lado se mete una pieza y por el otro sale un listado de datos que se pretenden fiables. Es cierto que un conocimiento adecuado de las técnicas instrumentales utilizadas proporciona la capacidad de evaluar la naturaleza y los límites de los datos obtenidos, pero eso, de nuevo, no es más que otra herramienta más en nuestro camino al objetivo final: la interpretación de esos datos con el fin de aumentar nuestro conocimiento sobre las personas y las circunstancias que producen el objeto que estamos estudiando, es decir, generar un conocimiento que, a modo de pieza de puzzle, encajará, mejor o peor, en la visión general que entre todos construimos de una circunstancia (cronológica, geográfica, social…) determinada.

En este proceso de integrar el objeto con su contexto, si entendemos los elementos de la cultura material como herramientas diseñadas y producidas para cumplir una función determinada, nos topamos inevitablemente con el concepto de "calidad", entendida como la adecuación de un objeto a su función. Así, un objeto será "mejor" o "peor" en función de hasta qué punto se adapte de manera correcta a su cometido. Por eso, el primer paso es determinar la posible función del objeto. Sin embargo, una vez más o menos establecida ésta, nos encontramos con que hay una serie de condicionantes (de tipo tecnológico, económico, social…) que constituyen una serie de limitaciones a la posible adecuación del objeto a su función, es decir, a su "calidad". Estos condicionantes establecen un marco que determina la mayor o menor facilidad del objeto de ser de una manera determinada, y hay que tenerlos en cuenta a la hora de evaluarlo. Así pues, el objeto constituye un equilibrio entre la necesidad y las limitaciones, y en consecuencia la "calidad" no puede entenderse como un valor absoluto en función de cuán adecuado sea un objeto para cumplir una función, sino que es un concepto que depende de los medios disponibles y los condicionantes aplicables. El conocimiento del mayor número posible de estos elementos situacionales es imprescindible para determinar de manera adecuada la "función" del objeto dentro de su contexto, más

allá de la funcionalidad estricta, considerando elementos del entorno: tecnología, materias primas, factores económicos, sociales… Es desde esta perspectiva que aplicar el concepto de "calidad" tiene un cierto sentido, puesto que al ser la función del objeto un producto del contexto, la calidad es relativa por definición. Así, es inútil hablar de una *Calidad Absoluta,* ni tan sólo de una *Calidad Funcional,* que sería más objetiva y fácil de determinar. Lo que nos interesa es determinar el concepto de calidad, y su escala de evaluación asociada, de la persona inmersa en el contexto que produce el objeto Así, hablamos de *Calidad Percibida,* que sin dejar de ser un estricto juicio de valor, más o menos apoyado en criterios objetivos, busca aproximar los criterios de evaluación a la circunstancia del objeto en la medida de lo posible, en un intento de buscar una mayor coherencia histórica.

En consecuencia, se hace más evidente si cabe la necesidad del conocimiento de la relación entorno–objeto, no sólo ya para poder extraer conclusiones válidas de los datos obtenidos, sino también para poder establecer los parámetros de la investigación. No sólo eso, el concepto de calidad percibida está inevitablemente ligado el estudio de la tecnología histórica, en cuanto que establece una escala, los límites de la cual dibujan también los márgenes de ejecución en los que se mueven los procesos tecnológicos del momento. Así, en el ejemplo que nos ocupa, una espada, dentro de su funcionalidad, puede ser mala, buena o excelente, pero sigue siendo una espada, diseñada y creada para una función específica. El conocimiento de esta función nos permite tener una cierta idea de en que grado de calidad se encuentra una pieza en particular, y por lo tanto cuán significativa puede ser como reflejo del conocimiento tecnológico asociado a su producción.

II. EL OBJETO

En nuestro caso concreto, el objeto a estudiar es la espada ropera. Su contexto geo-cronológico se sitúa, a grandes rasgos, en Europa entre los s. XVI y XVIII, con diversos grados de variaciones formales dependiendo de la época y de la región concretas que estemos estudiando. Pero en términos generales se puede decir que se trata de una espada para ceñir, duelo y autodefensa, que se porta con el traje masculino, en un contexto no-militar. Dejando de lado las cuestiones etimológicas (Leguina, 1912) que parecen asociarla a la "ropa", la realidad social de este objeto es que es una espada que se "viste" a diario, como un complemento de la vestimenta. En este sentido, puede considerarse como un elemento de joyería masculina. Sin embargo, no es sólo eso. Además de lo que su lujo pueda decir de la riqueza material de su portador, es un objeto con una fuerte carga social, asociada a los conceptos medievales de aristocracia guerrera, que a lo largo de la época moderna se van diluyendo pero que sobreviven en algunos aspectos y costumbres, como es precisamente el hecho de portar armas en todo momento, que en ciertas épocas y lugares, en este periodo, es un derecho reservado sólo a individuos pertenecientes a un cierto estrato social privilegiado. Sin embargo, no deja de ser un arma de pleno derecho, concebida para ser usada y diseñada para hacerlo de forma efectiva cuando sea necesario, pero siempre dentro de su circunstancia. Como ya se ha mencionado, no es un arma diseñada para un contexto militar, que en la época, y debido a la realidad del campo de batalla, exige una espada con características diferentes para ser efectiva, normalmente con una hoja ancha y robusta de alta capacidad de corte. La ropera tiene una serie de condicionantes distintos. Para empezar es un objeto que la mayor parte del tiempo se viste, y no sólo eso, se luce, pero no se usa, lo cual da un peso distinto a la importancia que pueda tener su aspecto y la comodidad de transporte. Por otro lado, cuando deba usarse, lo hará en la enorme mayoría de los casos en situaciones de duelo o de autodefensa, con lo cual se tratará de combates individuales o con poca gente involucrada, y en un ambiente en el que no se suelen llevar armaduras. Todo esto condiciona a su vez las necesidades funcionales del objeto, y éstas conllevan también que su manejo se adapte, desarrollándose un tipo de esgrima específico para este tipo de armas, con sus esperables variaciones.

Todo esto, con sus lógicos matices, constituye un conjunto de condicionantes que configuran una necesidad a la cual el objeto, la espada ropera, es una respuesta. Pero también configuran un conjunto de limitaciones, más allá de las estrictamente tecnológicas. Las barreras que impone la tecnología tienen que ver con las capacidades de los materiales disponibles, los límites de los procedimientos de fabricación y transformación o el nivel de comprensión de los procesos fundamentales de la actividad. Pero el resto de condicionantes imponen una serie de márgenes, con frecuencia difusos, y siempre variables, sobre cosas como la comodidad, el peso, la distribución de masas para el manejo, el precio o el equilibrio entre decoración y funcionalidad.

Es todo este conjunto el que determina la función, en el sentido más amplio, del objeto, configurando un territorio necesariamente amplio y de fronteras imprecisas donde deberemos intentar ubicar de la forma más exacta posible cada objeto en particular para poder contextualizarlo adecuadamente.

III. LA CALIDAD

Una vez se establece, hasta donde es posible, la función, hay que determinar hasta qué punto se adecúa el objeto a ella. Por lo general, esto se hace estudiando el diseño y los materiales de la pieza en cuestión. Sin embargo en este caso, afortunadamente, contamos además con material adicional en forma de documentación de la época que nos permiten dibujar un paisaje más amplio de la relación del objeto con su entorno.

El estudio de este *corpus* relativamente amplio de fuentes primarias (para algunas muestras significativas de esta documentación, ver por ejemplo Leguina, 1885; Leguina, 1897; Leguina, 1912; Dueñas, 2001; Dueñas, 2004; Ramírez de Arellano, 1920) nos lleva a una serie de conclusiones, de las cuales algunas de las más significativas para el tema que nos ocupa son:

- La espada puede dividirse en dos componentes principales: hoja y empuñadura, en función de que los encontramos comercializados por separado e incluso fabricados por gremios distintos. De estos componentes, el que parece tener más importancia desde un punto de vista global, es la hoja.
- A nivel de producción local, el precio de los componentes de la espada ropera viene condicionado por los materiales y por el nivel de acabado, pero en el caso de comercio a nivel nacional o internacional, el precio, asumidos unos niveles de acabado similares, viene condicionado fuertemente por el lugar de origen del componente. Así, las hojas de Toledo o las empuñaduras vizcaínas aparecen de forma consistente en las zonas más altas de la tabla de precios, y las hojas de Génova o Tolosa (Francia) en las zonas más bajas.
- Toledo aparece considerada de manera destacada, tanto a nivel nacional como internacional, como ciudad productora de hojas de alta calidad. Existen artesanos toledanos cuyos nombres se asocian con una producción de hojas de incuestionable excelencia.
- Las referencias que describen de un modo u otro aquello que es propio de las hojas de calidad se centran principalmente en características de tipo mecánico (elasticidad, brillo, capacidad de corte, etc.).

Todo lo anterior nos lleva en este caso a concluir que, en la época, la "calidad" de la espada ropera, entendida como una "herramienta", está relacionada principalmente con las propiedades mecánicas de la hoja. Y con esto tenemos una buena hipótesis que nos permite trabajar sobre lo que hemos definido como *Calidad Percibida.*

IV. OBJETIVOS

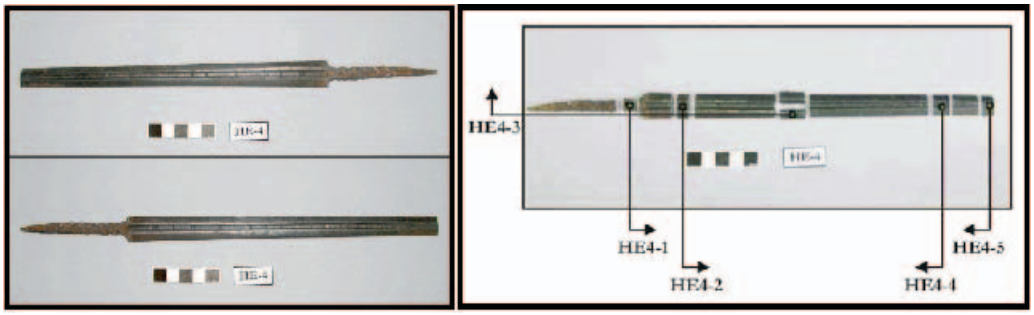
Los resultados presentados en este artículo se enmarcan en un estudio más amplio cuyo objetivo es establecer en lo posible los procesos tecnológicos involucrados en la fabricación de hojas de espada ropera para después relacionarlos con la aplicación funcional de estas armas. Con ello se pretende hacerse una idea del grado de control que los artesanos tenían sobre las materias primas y los procesos tecnológicos, es decir, de su capacidad para manipular los materiales con el fin de adaptarlos a una tarea específica. Esto da una medida de hasta qué punto en un contexto determinado se halla extendida no sólo una tecnología sino un conocimiento tecnológico. La primera deja reflejado en los objetos la aplicación de un conocimiento (el "cómo"), pero el segundo nos habla del grado de control sobre ese conocimiento (el "porqué"), que es la génesis para entender los mecanismos de generación de más conocimiento.

En este caso concreto, estudiamos un conjunto de hojas de espada ropera del s. XVII-principios del XVIII mediante técnicas de metalografía con el fin de establecer qué procesos tecnológicos han sido aplicados sobre ellas e intentar relacionarlos con lo que sabemos de la utilización de estas espadas. En este artículo se presentan los resultados del estudio metalográfico de dos de estas piezas.

V. LOS MATERIALES

Se trata de dos fragmentos de hoja de espada ropera, etiquetados como HE-4 y HE-5. Ambos corresponden a aproximadamente la misma porción de la hoja, que comprende la espiga (la porción de la hoja que va dentro de la empuñadura) y parte del llamado "tercio fuerte", que es la porción más cercana a la empuñadura, con una longitud aproximadamente equivalente a un tercio de la longitud total de la hoja, excluyendo la espiga. Esto hace que se pueda establecer una cierta comparación entre ellos, y es por eso que se han seleccionado estos para empezar.

HE-4: Fragmento de hoja de espada (ver Fig. 1a) con una longitud de 31.2 cm. De éstos, 8.4 cm corresponden a la espiga, de perfil vagamente triangular y sección cuadrangular. Presenta una serie de muescas cortadas con cincel, en forma de espiga, con el "vértice" apuntando hacia la parte más delgada.



(a) (b)

Figura 1. (a) Fragmento de hoja de espada HE-4. (b) Posición de las muestras tomadas para análisis metalográfico. Las flechas apuntan a la dirección de la cara examinada.

El fragmento de la hoja propiamente dicha mide 23.7 cm, con anchura y grosor. a 0.5 cm del extremo. Presenta una sección hexagonal aplanada, y una acanaladura por ambas caras que empieza en la base de la hoja y se extiende más allá del fragmento. En dicha acanaladura, también en ambas caras, se puede leer, no sin dificultad, la inscripción punzonada "xx IN x SOLINGEN xx". Solingen es una ciudad alemana,

situada en el actual estado de Rin Norte-Westfalia, famosa hoy en día, entre otras cosas, por su industria cuchillera. En el periodo de tiempo que nos ocupa, esta ciudad era un conocido centro de producción de hojas de espada, que se exportaban al mundo entero.

Se trata de un fragmento de hoja de ropera de entre finales del XVI y finales del XVII, modificada posteriormente probablemente para encajar en un bastón de estoque en el s. XIX o principios del XX. La espiga actual es consecuencia de esta modificación, que afectó a parte de la hoja. Los razonamientos que llevan a estas conclusiones pueden encontrarse en Gener (2007).

El fragmento HE-4 fue cortado en varias partes con las que se elaboraron las probetas que fueron sometidas a análisis metalográfico (ver Fig. 1b). Se trata de secciones transversales completas salvo la muestra HE4-3 que presenta un corte longitudinal a lo largo de una porción.

HE-5: El segundo fragmento de espada (ver Fig. 2a) mide 33.7 cm de longitud total, de los que 13.8 cm corresponden a la espiga, de sección cuadrangular y perfil triangular, afinando bastante hacia el extremo.

El fragmento de hoja propiamente dicha mide 19.9 cm de longitud, con anchura y grosor (A x G) de 19.64 x 8.23 mm en la base y 14.29 x 3.79 mm a 1 cm del extremo. Presenta una sección hexagonal aplanada, y una acanaladura por ambas caras que empieza en la base de la hoja y se extiende más allá del fragmento que tenemos. En dicha acanaladura se puede leer la inscripción “xxx TOMAS xxx AYALA xxx” en una cara y “xxx EN xxx TOLEDO xxx”, en la otra. Tomás de Ayala fue un espadero de gran prestigio, que trabajó en Toledo durante la segunda mitad del s. XVI (Ramírez de Arellano, 1920).

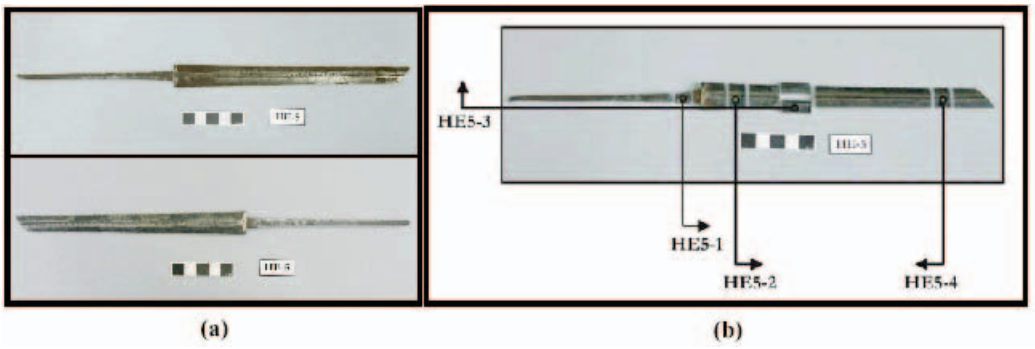


Figura 2. (a) Fragmento de hoja de espada HE-5. (b) Posición de las muestras tomadas para análisis metalográfico. Las flechas apuntan a la dirección de la cara examinada.

Sin embargo, éste es un fragmento de hoja probablemente de entre finales del XVII y mediados del XVIII, destinada a ser montado en una empuñadura de espadín. El espadín es una tipología de espada de ceñir posterior a la ropera, con una morfología general distinta y una esgrima también diferente. En España se siguieron usando roperas hasta bien entrada la época en la que el resto de Europa ceñía espadín al costado, e incluso cuando este último se introdujo con fuerza en el país con la llegada de los Borbones al poder se adaptaron hojas de ropera a las nuevas empuñaduras, y en las hojas de nueva producción se siguió usando una tipología que conservaba elementos propios de las hojas de ropera. Este último es muy probablemente el caso que nos ocupa. La inscripción de la hoja no corresponde al auténtico artífice, y el lugar de origen es muy probablemente también un taller de Solingen, donde se producían muchas hojas con inscripciones falsas que pretendían aprovechar el prestigio de artesanos y centros de producción de reconocida calidad. Un desarrollo más amplio de los argumentos que nos conducen a estas conclusio-

nes puede encontrarse en Gener (2007). Al nivel de argumentación con el que nos vemos obligado a trabajar en este caso por los datos de que disponemos, podemos afirmar también que la funcionalidad de esta hoja es lo bastante parecida a la de una hoja de ropera de época anterior como para poder discutir al respecto sobre ambas hojas en conjunto.

El fragmento HE-5 fue también cortado en fragmentos para elaborar las probetas que fueron sometidas a análisis metalográfico (ver Fig. 2b). Los cortes son secciones transversales completas salvo la muestra HE5-3 que presenta un corte longitudinal a lo largo de una porción del fragmento.

VI. METODOLOGÍA

Los fragmentos fueron cortados con una sierra circular de baja velocidad refrigerada y con disco de diamante. Las muestras obtenidas se embutieron en resina epoxi de manera que las caras especificadas en las figuras 1b y 2b fueran las sometidas a examen. Tras eso se desbastaron las probetas con lijas de carburo de silicio (grados 240, 400, 800 y 1200) y se pulieron con polvo de alúmina hasta conseguir una superficie especular y libre de marcas. El ataque se llevó a cabo con Nital al 2% durante un tiempo de alrededor de 15 s., con algunas variaciones en función de cada muestra en particular. El estudio se ha llevado cabo mediante Microscopía Óptica (MO), usando un microscopio binocular LEICA DMLM con una cámara digital (LEICA DC300) incorporada.

Tras su paso por el microscopio, las probetas fueron sometidas a un estudio de microdureza mediante un microdurómetro Remet XH-1000, tomando datos en varios puntos significativos de la superficie de cada probeta. Los resultados están dados en escala Vickers.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HE-4: En la Fig. 3 podemos ver las macrografías de las probetas de la pieza, tras el ataque químico, mostrando la heterogeneidad del material en algunos puntos. En HE4-1 y HE4-2, el color más claro corresponde a estructuras esencialmente ferríticas (hierro), y el gris más oscuro a estructuras perlíticas y ferrítico-perlíticas (acero). En el resto de piezas, el color gris oscuro corresponde a estructuras martensíticas (acero endurecido).

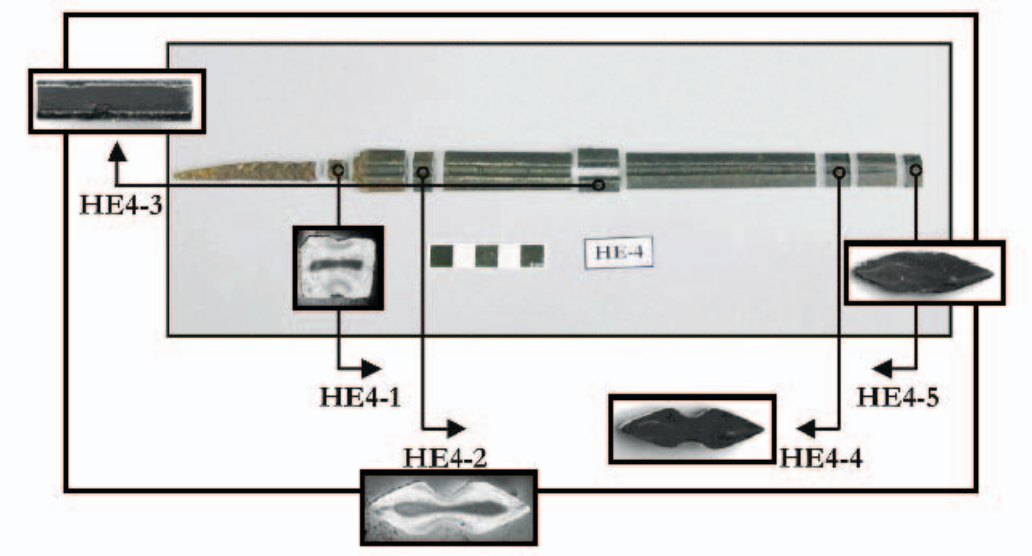


Figura 3. Macrografías de las probetas extraídas de la pieza HE-4, pulidas y atacadas con Nital al 2%.

En la Tabla 1 se resumen los datos más importantes del estudio metalográfico de la pieza. Los datos de microdureza son el resultado de la media de las lecturas en cada área de la probeta. Los que se dan como dobles corresponden a tejas/núcleo.

Muestra	Construcción	Microestructura	HV
HE4-1	Núcleo de acero envuelto en tejas de hierro parcialmente carburizado.	Ferrita con algo de perlita en las tejas. Ferrita y perlita en el núcleo.	156 / 221
HE4-2	Núcleo de acero envuelto en tejas de hierro parcialmente carburizado.	Ferrita con algo de perlita en las tejas. Perlita, ferrita y bainita revenida (?) en el núcleo.	143 / 250
HE4-3	Acero.	Martensita revenida.	424
HE4-4	Acero.	Martensita revenida.	449
HE4-5	Acero.	Martensita revenida.	436

Tabla 1. Resumen de los datos del estudio metalográfico de HE-4.

HE-5: En la Fig. 4 podemos ver las macrografías de las probetas de la pieza, tras el ataque químico. Como en el caso anterior, en HE5-1 y HE5-2 el color más claro corresponde a estructuras esencialmente ferríticas (hierro), y el gris más oscuro a estructuras perlíticas y ferrítico-perlíticas (acero). En el resto de piezas, el color gris oscuro corresponde a estructuras martensíticas (acero endurecido).

En la Tabla 2 se resumen los datos más importantes del estudio metalográfico de la pieza. También como en el caso anterior, los datos de microdureza son el resultado de la media de las lecturas en cada área de la probeta y los que se dan como dobles corresponden a tejas/núcleo.

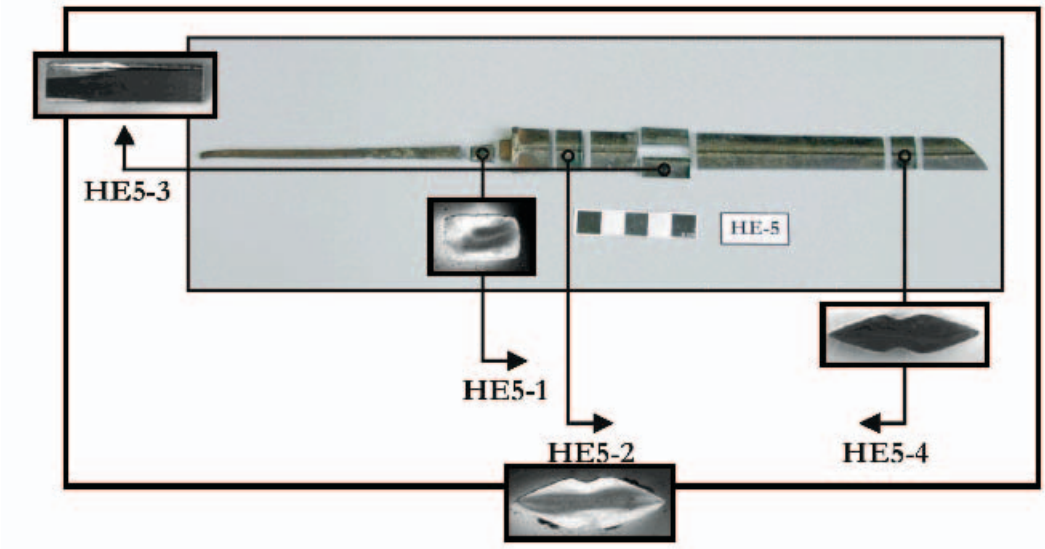


Figura 4. Macrografías de las probetas extraídas de la pieza HE-5, pulidas y atacadas con Nital al 2%.

Muestra	Construcción	Microestructura	HV
HE5-1	Núcleo de acero compuesto, envuelto en tejas de hierro.	Ferrita y perlita en las tejas. Perlita y ferrita en el núcleo.	174 / 239
HE5-2	Núcleo de acero compuesto, envuelto en tejas de hierro.	Ferrita y algo de perlita en las tejas. Perlita, parcialmente esferoidizada en el núcleo.	136 / 231
HE5-3	Acero, con restos de las tejas de hierro en un extremo.	Ferrita en las tejas. Martensita revenida en el resto.	133 / 387
HE5-4	Acero.	Martensita revenida.	408

Tabla 2. Resumen de los datos del estudio metalográfico de HE-5.

Estos resultados nos indican que en ambos casos la espiga, y la parte de la hoja que estaría más cercana a la empuñadura son de acero (aprox. 0.5% C en peso) encapsulado entre dos "tejas" de hierro. La microestructura del núcleo en la parte encapsulada es perlita / bainita revenida en el caso de HE-4 y perlita parcialmente esferoidizada en el caso de HE-5. El resto de la hoja es de acero, presumiblemente con el mismo contenido en C que el núcleo de la parte encapsulada, sometido a un tratamiento térmico con el fin de dar lugar a una composición de martensita revenida. El tratamiento térmico habrá probablemente consistido en un templado (calentamiento de la pieza hasta algo más de 800º C y enfriamiento rápido por inmersión en un fluido para endurecer la pieza) seguido de un revenido (calentamiento de la pieza a 300-500º C una cantidad de tiempo variable con el fin de reducir la fragilidad de la pieza endurecida).

Hay que tener en cuenta que HE-4 ha visto modificada la parte correspondiente a la actual espiga en un momento posterior a su fabricación. La morfología interna y externa, así como la microestructura, es coherente con un proceso realizado en caliente, martilleando la parte inferior de la hoja para crear una nueva espiga, sin ningún intento de endurecer esa zona. Probablemente esto fue hecho aplicando el calor localmente y manteniendo una temperatura relativamente baja. También hay que recordar que nos falta entre la mitad y dos tercios de cada hoja correspondientes a la parte más cercana a la punta, pero es razonable (Williams, 1978; Biborski *et al.,* 2004) asumir que la composición y la microestructura serán una continuación de las que hallamos en las muestras más cercanas al punto de fractura (HE4-5 y HE5-4), es decir, un acero con un contenido en carbono alrededor del 0.5% con una estructura martensítica fruto de un proceso de templado y revenido. El resultado son unas hojas cuya parte más cercana a la empuñadura es de hierro en el exterior y de acero sin endurecer en el interior, mientras que el resto, hasta la punta, es de acero endurecido hasta un cierto punto.

Cabe ahora detenerse en la función de estas piezas. La espada ropera, como ya se ha comentado más arriba, es un arma para llevar, para lucir y para ser usada en autodefensa o en duelo, si se presenta la ocasión. Hay toda una serie de consideraciones relacionadas con la índole social de este objeto en cuanto a muestra de estatus y, sobre todo, de poder económico que están asociadas al aspecto ornamental. Sin embargo, este aspecto ornamental se centra en aquellos elementos que son más visibles cuando la hoja se lleva ceñida, es decir, la empuñadura y la vaina. Hay un, digamos, nivel adicional, que tiene que ver con la calidad de la hoja, relacionado con su atribución a un lugar o fabricante determinados, y reservado a una apreciación por parte de lo que vendrían a llamarse "entendidos", pero esto implica un examen de la piezas más allá de la apreciación visual inmediata. En cualquier caso, la mayor parte del aspecto ornamental de las roperas está localizada en sitios que no son la hoja. Es cierto que parte del aspecto funcional es también responsabilidad de la guarnición, por el papel que tiene en el equilibrio total de la espada, y las funciones ofensivo/defensivas de algunos de sus elementos, pero nos queremos centrar en la hoja que es de lo único de lo que podemos extraer conclusiones en este momento.

En sus aspectos más marciales, la ropera es un arma de autodefensa circunstancial y de duelo, y es bajo estas premisas, de hecho, que se autoriza en la época su acarreamiento habitual. Otras armas de mayor potencial ofensivo, como armas enastadas y armas de fuego, o incluso armas fácilmente ocultables, como dagas, estaban sometidas a restricciones, como también lo estaban algunas espadas con características especialmente ofensivas (Leguina, 1885; Leguina, 1897). El tener que llevarla encima de manera habitual favorece una espada ligera, y el contexto en el que más probablemente se vaya a utilizar permite asumir que los adversarios que encontrará su portador no lleven ningún tipo de blindaje corporal pesado (metálico), lo cual reduce la necesidad de llevar armas capaces de enfrentarse a éste. En estas circunstancias una hoja delgada, rígida, con gran potencial ofensivo de punta pero reteniendo una cierta capacidad de tajo, está plenamente justificada. En efecto, lo que sabemos del manejo de estas espadas en la época (Anglo, 2000) nos habla de una esgrima predominantemente de punta, aunque sin despre-

ciar los cortes, haciendo gran énfasis en la defensa del esgrimidor y la incapacitación (no necesariamente la muerte) del adversario de la manera más eficaz y segura para uno mismo posible. Todo esto exige que la hoja sea rígida para facilitar el control del arma contraria, así como la penetración en el blanco a través de varias capas de tejido grueso o cuero, que era lo que se vestía habitualmente, pero también lo bastante elástica como para que en caso de encontrar un obstáculo en el ataque de punta pueda doblarse hasta un cierto punto y recuperar su forma original sin romperse ni quedar doblada. Al mismo tiempo, el filo (y la punta) debe mantener su capacidad cortante a pesar del contacto con otra hoja de metal, lo cual, combinado con lo anterior, exige un cierto grado de dureza. La hoja también debe ser capaz de soportar las deformaciones e impactos propios de un combate sin quebrarse, lo cual implica también un cierto grado de tenacidad y resiliencia. Todo ello mientras se mantiene una distribución de masa a lo largo de la hoja que garantice un arma relativamente ligera, bien equilibrada y ágil, adecuada a la esgrima del momento. Reunir todas estas propiedades, algunas opuestas entre ellas, en un mismo objeto no es sencillo. Pero se puede llegar a un compromiso aceptable. Para ello es necesaria una adecuada combinación de la elección del material, la distribución de masa y el tratamiento térmico, todo lo cual es lo que configurará las propiedades mecánicas finales de la hoja, y si estará en consecuencia mejor o peor adaptada a la función que el contexto exige de ella, así como si será, por lo tanto, de “mejor” o “peor” calidad, cuya percepción ya hemos visto que está relacionada con estas propiedades mecánicas.

En el caso que nos ocupa, las propiedades mecánicas que se pueden extraer del estudio de la microestructura de HE-4 y HE-5 nos indican que son adecuadas a la función que van a tener que desempeñar (Peláez Valle, 1986). La parte de la hoja con la que se ofende es la parte superior, que deberá mantener el filo y la punta. La esgrima predominantemente de estocada exige un manejo ágil y preciso que se ve favorecido por un punto de equilibrio situado en la hoja cerca de la empuñadura, lo cual hace necesario que la masa de la hoja esté concentrada preferentemente en esa zona. Esto hace que al hallar un obstáculo en una estocada la parte que tienda a doblarse preferentemente sea la más cercana a la punta, más delgada, mientras que, por lo contrario, al usar la hoja para detener un tajo sea la zona más cercana a la empuñadura, con mayor masa y menos brazo de palanca, la elegida, de ser posible, para tal menester. Y lo que nos muestra la microestructura es que la parte de la hoja más cercana a la punta es de acero endurecido y revenido, en un punto de temple que, combinado con la distribución de masa en este punto, constituye un aceptable equilibrio entra dureza, elasticidad y resiliencia que permite a la hoja cumplir su función de manera adecuada en cuanto a su rigidez, su elasticidad y su capacidad de mantener un filo aceptable. Con la distribución de masas que conocemos y la que razonablemente se puede presumir del resto de la hoja, una dureza mucho mayor haría la hoja frágil ante la flexión y el impacto, y una dureza mucho menor daría lugar una cierta propensión a las deformaciones plásticas de la hoja al ser sometida a tensión. La parte de la hoja más cercana a la empuñadura, en cambio, se mantiene sin endurecer. Aquí, la masa acumulada hace poco probable que esta parte de la hoja se flexione, con lo que la elasticidad es poco necesaria aquí. Por otro lado, el punto de transición entre hoja y espiga situado en esta zona es un foco de acumulación de tensión, agravado por el hecho de que la mano, que constituye el eje de rotación de la hoja en los tajos, está situada muy próximo a ella. Un endurecimiento en esta zona no hace más que favorecer la fragilidad del material, por lo que es lógico que se mantenga relativamente blanda, y al no ser necesario el endurecimiento, en esta zona se puede usar hierro, que en la época era más barato, en vez de acero. Pasa igual con la espiga, que es la parte más delgada del conjunto, y que estará situada dentro de la empuñadura, si las vicisitudes del combate aplican tensión sobre ese punto, es mucho menos catastrófico para la integridad del conjunto el hecho de que la espiga se deforme, con lo cual se puede seguir usando el arma, que no que se rompa, con lo que ésta queda inútil. El núcleo de acero en esta zona añade un grado de rigidez al conjunto además de dar continuidad entre las partes superior e inferior de la hoja, ahorrando la necesidad de una soldadura transversal que podría ser un punto débil potencial si no se hace bien.

En resumen, podemos decir que cada una de estas hojas es el resultado de un intencionado equilibrio metalúrgico que nos indica una elevada comprensión de los materiales, de las posibilidades que ofrecen y de los procesos necesarios para explotar éstas adecuadamente, con el fin de cubrir una necesidad determinada y bien conocida. Y que desde el punto de vista de las propiedades mecánicas de estas hojas y de su adecuación a la función que deben desempeñar, es decir, de lo que hemos deducido que podría ser una aproximación a la *Calidad Percibida* en este caso, ambas hojas sean razonablemente "buenas".

VIII. CONCLUSIONES

En este estudio se ha definido el concepto de *Calidad Percibida* como la adecuación de un objeto arqueológico a su función desde el punto de vista de alguien inmerso en el contexto en que el objeto es diseñado, producido y utilizado. Para poder aplicar este concepto es necesario plantearse la necesidad funcional a la cual el objeto en cuestión es una respuesta, así como los condicionantes, en el sentido más amplio (tecnológicos, sociales, funcionales, económicos…), que pueden influir en la implementación final.

Se ha argumentado también como en el caso de la espada ropera, el elemento más importante en el aspecto funcional es la hoja, y que la calidad de ésta parece estar asociada a sus propiedades mecánicas.

Se han examinado metalográficamente dos fragmentos de hoja de ropera, de periodos distintos pero de origen probablemente coincidente, resultando ambas estar fabricadas en acero, con el tercio superior envuelto en hierro, y dejado blando a propósito. El resto de la hoja es de acero templado y revenido. El motivo de esta construcción es probablemente de ahorro de material (acero) en una zona que concentra mucha masa de la hoja pero no exige endurecimiento.

La elección de los materiales y los tratamientos termomecánicos a los que han sido sometidos nos dan unas hojas lo bastante elásticas como para flexionarse considerablemente y recuperar su forma, y al mismo tiempo lo suficientemente tenaces y resilientes como para resistir los esfuerzos específicos a los que, por lo que sabemos de su uso, deberán someterse, así como lo bastante duras como para mantener el filo y la punta adecuados a su cometido. En consecuencia, es el conocimiento del contexto, en el sentido amplio, lo que nos permite hablar de piezas "mejores" o "peores", en la escala establecida por lo que hemos definido como Calidad Percibida. En este estadio de la investigación, nos faltan todavía elementos comparativos, pero es posible aventurar que estas hojas probablemente puedan considerarse de calidad "aceptable".

Por otro lado, tenemos dos hojas sin contexto de hallazgo conocido, pero con un posible lugar general de manufactura común y que presentan una tecnología de fabricación casi idéntica. A la espera de más datos, puede establecerse una hipótesis de trabajo apuntando a que este método de construcción pueda ser una tecnología característica de las producciones alemanas (Solingen) de hojas de ropera. Esto se verá confirmado o invalidado por futuras investigaciones.

Queda también patente que existe un problema a la hora de sacar conclusiones sobre este tipo de piezas si se toman muestras limitadas a una sola zona, puesto que se ha visto que existe heterogeneidad de composición y microestructura a lo largo de la hoja.

Es evidente también que para sacar conclusiones más generales es necesario estudiar muchas más piezas. En este proyecto, actualmente, hay por lo menos siete fragmentos más pendientes de estudio, pero es necesario ampliar el número si se quieren obtener resultados estadísticamente significativos. Además es de suma importancia tener piezas de claro origen geográfico para su estudio con el fin de poder establecer comparaciones e intentar averiguar al mismo tiempo cuales son los elementos y procesos tecnológicos que hacen que exista una escala de *Calidad Percibida* de las hojas según origen. En este senti-

do, buscar hojas de Toledo es prioritario, puesto que parece ser el lugar en que se producían las piezas de mejor calidad. Se sabe (Peláez Valle, 1986) que en Toledo en los s. XVIII y el XIX se usaba un sistema de fabricación de las hojas con núcleo de hierro y tejas de acero y que se consideraba "antiguo". La diferencia en propiedades mecánicas puede estar ahí.

BIBLIOGRAFÍA

ANGLO, S. 2000: *The Martial Arts of Renaissance Europe.* Yale University Press. New Haven. Conn.

BIBORSKI, M.; ZABINSKI, G.; STEPINSKI, J. 2004: "A renaissance sword from Racibórz". *GLADIUS* XXIV: 187-208.

DUEÑAS BERAIZ, G. 2001: "La producción de armas blancas en Bilbao durante el S.XVI". *GLADIUS* XXI: 269-290.

DUEÑAS BERAIZ, G. 2004: "Introducción al estudio tipológico de las espadas españolas: siglos XVI-XVII". *GLADIUS* XXIV: 209-260.

GENER, M. 2007: "Metallographic study of some 17th and 18th c. European sword (rapier) blades", Actas del 2nd International Conference "Archaeometallurgy in Europe". *Grado y Aquileia,* Italia, 17 – 21 de Junio.

LEGUINA, E. 1885: *La Espada. Apuntes para su historia en España.* Imp. de E. Rasco. Sevilla.

LEGUINA, E. 1897: *Los Maestros Espaderos.* Es. Tip. de Enrique Bergali. Sevilla.

LEGUINA, E. 1912: *Glosario de voces de Armería.* Lib. F. Rodríguez. Madrid.

OLIN, J.S. (ed.) 1982: *Future Directions in Archaeometry. A round Table.* Smithsonian Institution Press. Washington DC.

PELÁEZ VALLE, J.M. 1986: "Comentarios metalúrgicos a la tecnología de procesos de elaboración del acero de las espadas de Toledo descritas en el documento de Palomares en 1772". *GLADIUS* XVII: 129-156.

RAMÍREZ DE ARELLANO, R. 1920: *Catálogo de artífices que trabajaron en Toledo.* Imp. Prov. de Toledo. Toledo.

WILLIAMS, A.R., 1978: "Seven swords of the Renaissance from an analytical point of view". *GLADIUS* XIV: 97-128.

EL CONTACTO HISPANO-INDÍGENA A TRAVÉS DE LA METALURGIA DEL ANTIGUO NOROESTE DE ARGENTINA

THE LOCAL CONTACT PERIOD WITH EUROPEANS THROUGH THE METALLURGY OF THE OLD NORTHWESTERN ARGENTINA

GERALDINE A. GLUZMAN, LUIS R. GONZÁLEZ

Museo Etnográfico "Juan B. Ambrosetti", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

RESUMEN

La conquista hispana del Noroeste de Argentina, iniciada a mediados del siglo XVI, fue un largo proceso matizado por alianzas y enfrentamientos con los pueblos locales de la región. Durante el proceso de dominación del territorio y luego de obtenida, los habitantes originarios mantuvieron contactos de diversos alcances con los europeos, manifestados arqueológicamente en conjuntos artefactuales que integran materiales locales con alóctonos. Entre estos últimos, los más comunes son cuentas de vidrio y piezas de hierro. Además, se registran elementos de base cobre con variables contenidos de cinc y estaño. Dentro de una investigación más amplia sobre la trayectoria de la historia metalúrgica del Noroeste de Argentina, adelantamos algunos de los resultados obtenidos en los estudios de laboratorio sobre piezas de base cobre, centrándonos en la época de contacto hispano-indígena.

ABSTRACT

The Hispanic conquest of Northwest of Argentina, initiated in the middle of the 16th century, was a long process that combined alliances and confrontations with the local people of the region. During the process of domination of the territory, and after it was obtained, the native societies maintained contacts of varied extent with Europeans, which can archaeologically be seen in artefact sets with both local and foreign materials. Among the latter, the most common are glass beads and iron objects. In addition, copper-based pieces were registered with variable contents of zinc and tin. In the framework of a wider analysis of the trajectory of metallurgical history in Northwest of Argentina, we advance some of the results obtained in the laboratory studies on copper based elements, focusing on the local contact period with Europeans.

Palabras clave: Noroeste de Argentina, contacto hispano-indígena, piezas de base cobre, EDAX, análisis metalográficos, cambio tecnológico.

Key words: *Northwest of Argentina, local contact period with Europeans, copper based pieces, EDAX, Metallographical analysis, technological change.*

INTRODUCCIÓN

La región del Noroeste de Argentina (NOA) participó, desde tiempos remotos, de los complejos procesos socio-históricos que tuvieron lugar en el dilatado paisaje de los Andes. Tras un prolongado tránsito dentro de una economía basada en la caza y la recolección, seguido por la domesticación de animales como la llama y vegetales como el maíz y la papa, los grupos humanos, hace por lo menos dos milenios, comenzaron a asentarse en aldeas estables. Las diferentes características ambientales de la región matizaron la forma en que las poblaciones desarrollaron sus formas de vida. En el NOA fueron distinguidas tres grandes áreas (Fig. 1): puna, con altitudes superiores a los 3500 msnm, aridez y disponibilidad de agua limitada; pedemontana, por debajo de los 1000 msnm, boscosa y con abundantes precipitaciones; y valliserrana, con valles semiáridos de altitudes medias y ríos de aguas permanentes que permitieron los cultivos mesotérmicos de buen rendimiento (Tarragó, 1999). Fue en esta última subregión donde los desarrollos sociales prehispánicos alcanzaron su mayor dimensión y complejidad.

A partir del siglo X, el área de los valles fue escenario para la consolidación de unidades sociopolíticas de considerable extensión territorial y que nucleaban a miles de personas, asentadas en poblados aglomerados con construcciones de paredes de piedra. El desarrollo de las fuerzas productivas apuntaló el surgimiento de liderazgos institucionalizados y de asimetrías sociales en el acceso al poder y los recursos, condiciones que favorecieron el crecimiento de la producción de bienes de prestigio y ornamentos (González y Buono, 2007:175). Entre ellos, los metales de bronce estañífero ocuparon un lugar destacado. Con el tiempo, en algunos sectores del NOA los metalurgistas alcanzaron una notable capacidad y pusieron a punto innovaciones técnicas que les permitieron elaborar piezas de cualidades únicas en el ámbito andino, algunas de ellas de varios kilogramos de peso. A comienzos del siglo XV, con la incorporación del NOA al estado incaico, la especialización de los metalurgistas locales fue aprovechada por los administradores cuzqueños para sus propios fines, con una mínima reorganización de los sistemas de producción (González y Gluzman, 2006).

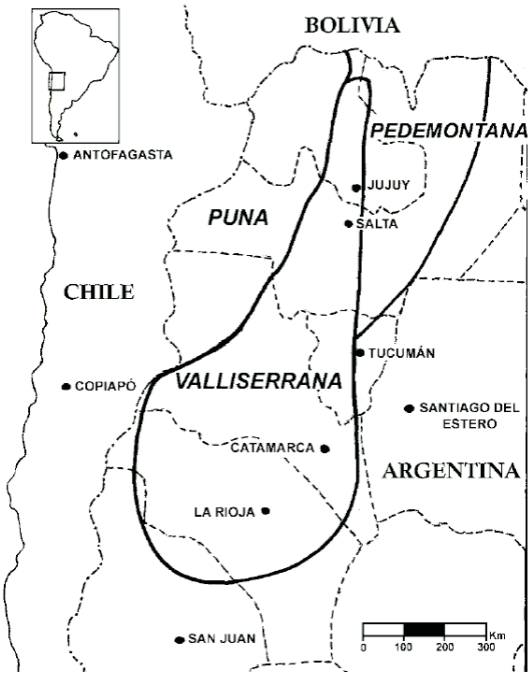


Figura 1. Mapa del Noroeste Argentino indicando subdivisiones espaciales.

La conquista española del NOA, iniciada en 1536 con la expedición de Diego de Almagro, fue un largo proceso caracterizado por alianzas, enfrentamientos y contactos de diverso alcance entre los europeos y las poblaciones originarias, implicando para estas el ingreso a un nuevo entramado social que alteró la producción, circulación y consumo de distintos tipos de bienes. En el caso de la metalurgia, los sistemas tecnológicos locales sufrieron rupturas en la cadena de aprovisionamiento de las menas metalíferas, en particular las de estaño (Gluzman y González, 2007), mientras que, al mismo tiempo, nuevos materiales, principalmente hierros y latones, iban siendo incorporados, de acuerdo a condiciones tales como la utilidad, la novedad y la conciliación de los bienes con los valores centrales de las poblaciones locales (Palermo, 2000). Este último aspecto parece haber tenido un peso importante, siendo comunes los casos de resignificación de elementos europeos a las realidades indígenas (por ejemplo, Tarragó, 1984).

Las piezas metálicas recuperadas por las investigaciones arqueológicas en contextos correspondientes a momentos del contacto hispano-indígena se caracterizan por una importante diversidad productiva, estilística y formal. En forma preliminar, pueden establecerse dos grandes categorías: en primer lugar, objetos de tradición prehispánica (tales como placas, discos, *topu);* en segundo lugar, los de carácter europeo (estribos, herrajes, medallas religiosas, hojas de cuchillos). Los estudios técnicos realizados sobre estos materiales fueron muy pocos y, por lo general, los trabajos apuntaron a tomar las composiciones elementales de las piezas como datos aislados de su contexto histórico, sin profundizar en las implicancias organizacionales y productivas (por ejemplo, véase Cáceres Freyre, 1983). En términos amplios, parece asumirse que la tradición metalúrgica nativa tuvo una extinción repentina para ser reemplazada por las tecnologías foráneas. Como perspectiva alternativa, proponemos que la producción y el uso de metales durante la época que nos ocupa se encuadraron, como otros aspectos de la cultura, en un proceso complejo que incluyó la articulación, en algunas regiones y a lo largo de cierto tiempo, de los estilos tecnológicos indígenas con los llegados del Viejo Mundo.

Como parte de una investigación más amplia relativa a la trayectoria de la metalurgia del pasado en el NOA y que incluye el tema de la producción y circulación de metales durante los momentos del contacto hispano-indígena, adelantamos los resultados de los estudios de laboratorio realizados sobre un conjunto de objetos pertenecientes a las colecciones del Museo Etnográfico Juan B. Ambrosetti. Tales estudios tenían como principal objetivo el de generar información tendiente a detectar patrones en los criterios de aleación en piezas de base cobre, explorar las eventuales relaciones entre estos criterios y las cualidades formales de las piezas e intentar comparaciones con los datos sobre análisis publicados previamente.

METODOLOGÍA

De acuerdo a los propósitos enunciados, nuestro estudio se ordenó según tres ejes:

- Análisis químicos sobre 21 piezas depositadas en el Museo Etnográfico Juan B. Ambrosetti de Buenos Aires, con procedencia los valles Calchaquíes del NOA, seleccionadas por sus atributos formales y asignables a la tradición estilística indígena o europea. La muestra involucraba diversos tipos: 8 objetos de adorno; 9 utilitarios; 4 no identificados.
- Metalografías sobre una de las piezas, conformada por un cascabel con su argolla de sujeción, con el fin de explorar las técnicas de elaboración.
- Comparación de la información composicional de las piezas analizadas por nosotros con lo informado en la bibliografía, correspondiente a 37 piezas asignadas al momento de contacto hispano-indígena y con distintas procedencias.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS

Las 21 piezas analizadas ingresaron en el Museo Etnográfico mediante compra durante la primera década del siglo XX. Como en muchos otros casos, se carece de registros sobre las condiciones de hallazgo y las asociaciones contextuales, más allá de la zona de procedencia. Obviamente, esta carencia de información limitó nuestras inferencias acerca del ámbito de elaboración de los objetos, debiéndose basar la selección en criterios estilísticos.

Luego de su selección, las piezas fueron sometidas a relevamientos dimensionales, pesadas y fotografiadas. Con posterioridad se efectuaron observaciones sobre diferentes sectores, utilizando lupa binocular y microscopio electrónico de barrido, con el objetivo de evaluar las condiciones de conservación y determinar el área conveniente para llevar a cabo las caracterizaciones químicas. Éstas se realizaron mediante Dispersión de Energía de Rayos X (EDAX), empleándose un equipo Philips PSEM 500 acoplado a un Microscopio Electrónico de Barrido, en los laboratorios del Centro Atómico Constituyentes, de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Los valores de composición de las piezas, que se resumen en la Tabla 1, corresponden al promedio de entre cuatro y seis mediciones efectuadas sobre cada una de ellas, en sectores en los que previamente fue retirada la pátina superficial.

N º	N º CATALOGO MUSEO	TIPO DE PIEZA	Cu	Sn	Fe	Zn
1	z. 481–26189	Frag. de objeto semilunar	65,52	–	26,03	6,45
2	z. 424–26184	Grampa	93,97	–	1,73	2,30
3	26179	Frag. de adorno	96,23	–	1,20	0,57
4	26174	Lámina circular	90,44	0,87	–	6,69
5	26197	Cabeza de clavo	95,98	–	–	2,02
6	26188a	Frag. de adorno con agujero interno	65,09	–	32,35	0,57
7	26188b	Placa rectangular con agujero interno	80,92	14,50	–	2,58
8	26188c	Frag. de disco con agujero interno	81,79	12,57	–	3,64
9	26188d	Frag. de adorno-colgante	81,31	12,58	2,40	–
10	26170	Aguja con cabeza perforada	84,87	7,38	–	5,76
11	32342	Frag. de mango de implemento	86,93	11,07	–	–
12	26200a	Frag. de cascabel con argolla en parte superior	85,92	–	7,35	3,71
13	32428	Clavo	93,33	–	–	4,67
14	26181	Lámina circular peque ña con agujero de suspensión	95,70	–	–	2,30
15	26189	Tirador	76.78	2,45	–	20,6
16	26178	Lámina circular	93,63	–	3,95	0,42
17	26172	Tuerca	81,29	–	–	15,13
18	563	Frag. de hoja de implemento	93,4	6,96	–	–
19	26200b	Argolla de objeto	82,00	–	8,00	6,37
20	26188e	Frag. de adorno	90,42	5,39	–	2,19
21	30364	Adorno de estribo	66,76	3,99	3,50	25,74

Tabla 1. Composición química de las muestras de estudio mediante EDAX (porcentaje en peso).

ANÁLISIS PREVIOS

Con el fin de comparar los resultados de nuestros análisis con aquellos anteriormente realizados, registramos y resumimos los datos de composición informados por distintos autores sobre metales de base cobre con contenidos de cinc y estaño, de muy variadas procedencias y diferentes tipos, asignados a la época que tratamos. Como mencionáramos, los autores no adelantaron propuestas acerca del contexto de elaboración de los objetos, siendo esperable que algunos de ellos correspondan a orígenes locales y que otros fueron de importación europea (véase Tabla 2).

N °	PIEZA	Cu	Zn	Sn	Fe	PROCEDENCIAS
1	Topu	53.69	35.81	–	1.10	Valle de Yocavil
2	Barrita	65.40	23.96	–	0.81	Valle de Yocavil
3	Punta	85.42	–	4.68	–	Valle de Yocavil
4	Herraje	59.90	13.61	–	2.09	Valle de Yocavil
5	Punta	94.84	–	0.20	–	Valle de Yocavil
6	Frag.	12.78	8.33	–	5.02	La Falda, Tilcara
7	Frag.	73.09	24.17	–	–	La Falda, Tilcara
8	Topu	88.65	–	4.92	3.21	La Falda, Tilcara
9	Anillo	39.75	15.01	–	–	La Falda, Tilcara
10	Cincel	74.39	24.15	–	–	La Falda, Tilcara
11	Hachuela	68.03	27.81	–	0.55	La Falda, Tilcara
12	L á mina	82.36	–	12.88	1.81	La Falda, Tilcara
13	Anillo	90.82	–	5.57	1.03	La Falda, Tilcara
14	Topu	88.50	–	0.84	2.71	La Falda, Tilcara
15	Frag.	79.95	7.00	–	–	La Falda, Tilcara
16	Topu	89.94	–	8.62	–	La Falda, Tilcara
17	Topu	67.61	11.43	–	–	La Falda, Tilcara
18	Objeto	82.20	7.50	1.60	0.56	Fuerte San Blas de Pantano
19	Disco	65.0	27.58	0.59	–	Baradero
20	Disco	68.24	25.77	0.15	–	Baradero
21	Lámina	95.88	0.28	1.41	–	Paraná Guazú
22	Lámina	91.42	0.48	0.609	–	Paraná Guazú
23	Lámina	86.08	0.30	3.28	–	Paraná Guazú
24	Lámina	91.89	0.34	0.76	–	Paraná Guazú
25	Lámina	76.28	20.10	0.38	Tz	Arroyo de Las Conchas
26	Disco	84.15	1.34	–	–	Santa Fe La Vieja
27	Campanilla o mango	69.76	15.18	–	2.70	Santa Fe La Vieja
28	Frag. de copa	68.99	8.67	–	0.69	Santa Fe La Vieja
29	Dedal	77.19	22.58	–	–	Santa Fe La Vieja
30	Clavo	79.17	20.69	–	–	Santa Fe La Vieja
31	Campanillas	80.83	18.96	–	0.77	Santa Fe La Vieja
32	Lámina	63.75	28.17	–	0.47	Santa Fe La Vieja
33	Agujas Pequeñas	68.73	28.49	–	0.97	Santa Fe La Vieja
34	Agujas Pequeñas	70.51	26.07	–	1.13	Santa Fe La Vieja
35	Aguja Grande	73.39	25.86	–	–	Santa Fe La Vieja
36	Punzón	96.91	–	–	–	Viluco
37	Pendiente	68.12	29.58	1.58	0.71	Viluco

Tabla 2. Composición química y procedencia de materiales recopilados (Fuentes: 1-17, González 2001; 18, Cáceres Freyre 1983:573; 19-20, Debenedetti 1910:445; 26-35, Fester 1962:29-31; 36-37, Boman 1920:529-530)

METALOGRAFÍAS

De las piezas analizadas, para someterla a estudios metalográficos[1] seleccionamos una de ellas compuesta por dos partes (números 12 y 19 de la Tabla 1). Se trata de un cascabel semifragmentado, que consta de una caja circular con una pequeña abertura y que contiene dentro una pequeña bolita de metal o piedra. La caja presenta dos mitades que se unen en el centro de la pieza. Opuesto a la hendidura, cuenta con una argolla que servía para pasar un cordel (Figura 2). Para efectuar los análisis microestructurales se decidió abordar un área de la argolla y otra del cuerpo, sobre uno de los bordes de junta de la caja metálica.

Las muestras fueron incluidas en acrílico y pulidas en la secuencia habitual con papeles abrasivos de diferente grado y por último con polvo de diamante. Las observaciones metalográficas fueron realizadas en las muestras en forma previa y posterior al ataque químico.

A partir de las características de las microestructuras reveladas, se postula que la pieza fue conformada en varias etapas. En el caso del cuerpo del cascabel, se partió de una chapa de aleación de cobre-cinc, sometida a deformación plástica y recristalización (Figura 3). La hipótesis es que se habría fundido la aleación en moldes circulares formando dos placas delgadas, cada una de las cuales fue sometida a martillados con calentamientos continuos hasta lograr dos mitades semicirculares. Según surge de las metalografías realizadas en uno de los bordes de junta del cascabel, las dos láminas delgadas habrían sido unidas en estado sólido empleando una combinación de calor y presión, sin la intervención de soldadura de aporte. El lado externo de la superficie de la caja muestra un estado de deformación plástica que atribuimos a operaciones de pulimento con el propósito de otorgar las terminaciones finales de su forma esférica.

Figura 2. Cascabeles esféricos.

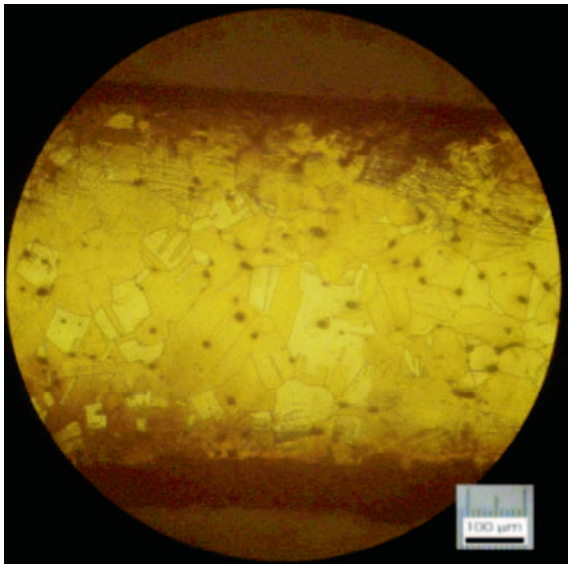


Figura 3. Metalografía de caja de cascabel.

1. Agradecemos al Ing. Horacio de Rosa quien nos facilitó el laboratorio del departamento de Materiales de la Facultad de Ingeniería (UBA) y enriqueció nuestras interpretaciones metalográficas.

Respecto de la fabricación de la argolla del cascabel, consideramos que se habría producido una cinta delgada de material de aleación cobre-cinc, la cual se habría arrollado sobre un cilindro que le proporcionó la forma circular, dejando dos extremos rectos que se solaparon. En lo que respecta a su inserción al cuerpo esférico del cascabel, los extremos de la argolla se habrían introducido haciendo una inserción en la caja del mismo. Resultado de dicha inserción, se habría deformado levemente la chapa de la esfera tal como se ve en la metalografía (Figuras 4 y 5). Todo parece indicar que en la zona de unión de la argolla con el cuerpo del cascabel se colocó un alambre o chapita de un metal de menor punto de fusión y que por calentamiento actuó como soldante, fijando ambas partes y uniendo los extremos de la cinta que forma la argolla. Si bien es probable que el material de aporte se trate de cobre-estaño, es necesario confirmarlo con una determinación química que se encuentra programada. En resumen, el estudio metalográfico sobre este sector del cascabel estableció tres estructuras: la estructura dendrítica de la soldadura, la estructura del material base cuyos granos se habrían parcialmente recristalizado por los efectos de la aplicación del material soldante y la estructura recristalizada sin deformación del material de la argolla.

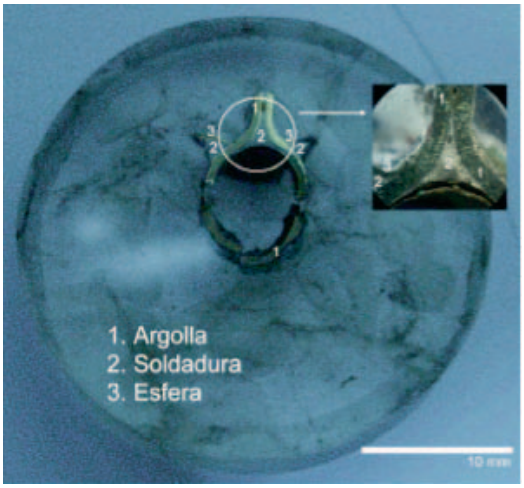


Figura 4. Macrofotografía de acrílico con argolla incluida, detallando área de unión de argolla y caja esférica del cascabel.

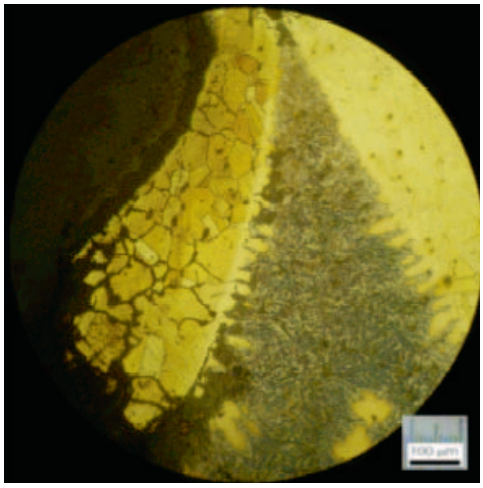


Figura 5. Metalografía de zona de unión entre la argolla y la caja esférica del cascabel

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las Tablas 3 y 4 muestran los valores promedio de estaño y de cinc en objetos según la información bibliográfica y en los analizados por nosotros, de acuerdo a las categorías anteriormente establecidas (adornos, objetos utilitarios y no identificados). Para el caso de nuestras piezas, cabe señalar los anómalos contenidos de hierro detectados en los fragmentos 1 y 6, los cuales probablemente respondan a contaminación de las muestras. Por otro lado, no fueron detectados contenidos de plomo por encima del 1%.

En términos generales, los valores de composición de la muestra analizada por nosotros presentan discrepancias con la información recopilada de la bibliografía, especialmente en la representación del estaño y del cinc. En las tres categorías de nuestras piezas observamos una menor presencia de cinc, que alcanza 4.04% en promedio. En forma paralela, observamos un aumento notorio del estaño en las categorías de adornos y utilitarios. Considerando estas dos categorías y la de no identificados, el estaño se mantiene en un promedio relativamente alto, de 9.01%. En cambio entre las piezas analizadas por autores previos, en 23 ejemplares el aleante principal es cinc, mientras que el estaño lo es en otros 11. En el primer caso, los valores de cinc oscilan entre 35.81% y 1.34%, mientras que para el estaño los valores máximos y mínimos son 12.88% y 0.20%, respectivamente.

Sin descartar otros factores que nos resultan difíciles de calibrar (por ejemplo, la disminución en la representación de elementos como el cinc y el estaño a partir de eventuales operaciones de refundición), atribuimos parte de estas diferencias a sesgos derivados de la disímil procedencia de las muestras, en tanto los objetos de los anteriores análisis involucran un extenso ámbito geográfico mientras que los nuestros representan una región discreta del Noroeste, los valles Calchaquíes. Si esto es así, los datos estarían apoyando la idea que las modificaciones tecnológicas en los materiales metálicos variaron de acuerdo a su inserción regional. Sería esperable, en tal sentido, que la tradición tecnológica indígena, basada en la aleación con estaño, persistiera con mayor fuerza en áreas como la de los valles Calchaquíes, en las cuales se había alcanzado, en épocas prehispánicas, la mayor escala de producción metalúrgica.

Tipo de piezas	Cinc	Estaño	Ambos
Adornos	7 piezas	4 piezas	3 piezas
Promedio	15.90 %	4.98 %	
Utilitarios	8 piezas	2 piezas	0 piezas
Promedio	20.45 %	2.44 %	
Objetos no identificados	5 piezas	1 piezas	6 piezas
Promedio	18.32 %	12.88 %	

Tabla 3. Promedios de composición química de materiales recopilados en bibliografía.

Tipo de piezas	Cinc	Estaño	Ambos
Adornos	4 piezas	1 pieza	3 piezas
Promedio	1.78 %	12.58 %	
Utilitarios	5 piezas	2 piezas	2 piezas
Promedio	6.09 %	9.01 %	
Objetos no identificados	2 piezas	0 piezas	1 pieza
Promedio	3.43 %		

Tabla 4. Promedios de composición química de nuestra muestra de estudio.

Por otro lado, nuestras hipótesis expresan que el estaño pudo haberse incorporado como resultado de la refundición de antiguas piezas metálicas, aunque no debe descartarse la posibilidad que algunas piezas de bronce hayan sido conservadas y tuvieran desempeño social en épocas del contacto hispano-indígena. La idea de la refundición de piezas, locales e importadas, puede recibir apoyo en la presencia de 6 objetos que contienen en forma simultánea cinc y estaño en valores significativos. Según surge de los datos producidos, la incorporación del cinc a las aleaciones adoptó una amplia variabilidad en su representación y con relación a los contenidos del estaño tradicional de tiempos prehispánicos, independientemente de la funcionalidad atribuible a los bienes analizados. En el campo de los adornos resulta sugestivo el caso de los alfileres denominados *topu,* elementos de tradición indígena que aparecen realizados para esta época tanto con estaño como con cinc. También encontramos casos de reciclado de piezas metálicas, por ejemplo el adorno-colgante Nº 9 de la Tabla 1, una lámina cuadrangular irregular a la que posteriormente se le realizaron dos pequeñas perforaciones que servirían para pasar un cordel (Figura 6).

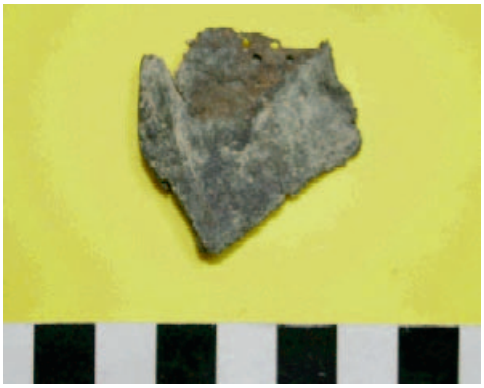


Figura 6. Adorno-colgante (pieza Nº 9).

Con la llegada europea, asimismo, las técnicas de elaboración se vieron ampliadas, tal como lo muestra la incorporación de la soldadura con aporte de material, un procedimiento que no era aplicado en el NOA en épocas previas.

Las fuentes históricas dejan entrever diferentes modalidades de incorporación de piezas de metal europeas al universo indígena, destacando el valor que se le otorgaba a ciertos objetos (principalmente cuentas de vidrio, agujas de bronce y cuchillos de hierro). Además, otras piezas, como medallas religiosas o artefactos vinculados a la liturgia ibérica, solían ser regalados a los locales. Al respecto,

debe tenerse en cuenta que durante las periódicas situaciones de tensión entre ambos bandos, era común que los locales destruyeran los objetos considerados sagrados por los europeos, repitiendo las prácticas que estos desplegaron durante la evangelización forzosa. Atento a ello, consideramos importante evaluar como hipótesis que aquellos artefactos europeos elaborados en metal que no conciliasen con los valores culturales indígenas podrían ser tratados como chatarra y sometidos a refundición. Esta probabilidad permitiría explicar el ingreso del cinc, sea a través de objetos europeos que eran mantenidos dentro del ámbito social indígena o que, debido al rechazo cosmovisional subyacente, eran procesados para elaborar nuevas piezas.

En suma, los estudios llevados a cabo, si bien no resultan concluyentes, permiten sostener que el reemplazo de los metales de la tradición indígena del NOA por materiales europeos no fue repentino ni automático. Por el contrario, conformó un proceso gradual y dotado de una amplia variabilidad, la cual estuvo ligada a los diferentes modos y tiempos en los que las sociedades locales fueron integradas al sistema colonial.

BIBLIOGRAFÍA

BOMAN, E. 1920: “Cementerio indígena en Viluco (Mendoza) posterior a la conquista.” *Anales del Museo Nacional* 30. Buenos Aires: 501-559.

CACERES FREYRE, J. 1983: “El fuerte de San Blas del Pantano (siglo XVII).” En *Presencia Hispánica en la Arqueología Argentina* 2. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia: 567-597.

DEBENEDETTI, S. 1910: “Noticia sobre un cementerio indígena de Baradero (prov. de Buenos Aires).” *Revista de la Universidad de Buenos Aires* XIII-XIV, 70: 435-452.

FESTER, G. 1962: “Copper and copper alloys in ancient Argentina.” *Chymia,* 8. University of Pennsylvania Press: 21-31.

GLUZMAN, G.A. y GONZALEZ, L.R. 2007: “Nuevos análisis de composición elemental de piezas metálicas coloniales del Noroeste argentino.” En *Actas 2do Congreso Argentino y 1^{ero} Latinoamericano de Arqueometría.* Buenos Aires (en prensa).

GONZALEZ, L.R. 2001: *Tecnología y dinámica social. La producción metalúrgica prehispánica en el Noroeste argentino.* Tesis doctoral no publicada. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.

GONZALEZ, L.R. y BUONO, H. 2007: “Hachas y cetros de metal del Noroeste argentino prehispánico.” *Revista Andina* 44. Cuzco: 175-198.

GONZALEZ, L.R. y GLUZMAN, G.A. 2006: “El bronce eterno. Metalurgia preincaica en el Noroeste argentino.” Anti Especial Nº 2, *Actas Coloquio Internacional Los Andes antes de los Inka.* ISP J.V. González-INC Trujillo. Centro de Investigaciones Precolombinas. Buenos Aires. Edición en CD.

PALERMO, M.A. 2000: “A través de la frontera. Economía y sociedad indígenas desde el tiempo colonial hasta el siglo XIX.” En Tarragó, M. (edit. tomo). *Nueva Historia Argentina Los pueblos originarios y la conquista de América,* Tomo I. Sudamericana. Buenos Aires: 344-382.

TARRAGO, M.N. 1984: “El contacto hispano indígena: la provincia de Chicoana.” *Runa* XIV. Buenos Aires:143-185.

TARRAGO, M.N. 1999: “Las sociedades del Sureste andino.” En *Las Sociedades Originarias.* Ed. Trotta-UNESCO. París: 465-480.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

EL PROYECTO "ALERT": UN MAPA DE RIESGOS PARA LA GESTIÓN Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO LITORAL

"ALERT" PROJECT: A RISK MAP FOR THE MANAGEMENT AND PROTECTION OF COASTAL ARCHAEOLOGICAL HERITAGE

ELÍAS LÓPEZ-ROMERO GONZÁLEZ DE LA ALEJA[1], MARIE-YVANE DAIRE[2]

(1) Becario Postdoctoral MEC, CNRS UMR6566-Université de Rennes1. 263 Av. du Général Leclerc, Bât. 24-25. 35042 Rennes. Francia. E-mail : lopezelias@ya.com
(2) CNRS UMR6566-Université de Rennes1. 263 Av. du Général Leclerc, Bât. 24-25. 35042 Rennes, Francia. E-mail : marie-yvane.daire@univ-rennes1.fr

RESUMEN

En el marco de las investigaciones sobre la interacción entre el hombre y el medio ambiente desarrolladas en el seno de la UMR 6566 *(Civilisations Atlantiques et Archéosciences)* en el oeste de Francia, se ha constituido un equipo de trabajo cuyo objetivo último es la elaboración de un mapa de riesgos para la gestión y protección del patrimonio arqueológico litoral ("ALERT": *Archéologie, Littoral et Environnement).* El innegable interés metodológico de esta herramienta y la constatación de la existencia de una problemática común a otras regiones debería permitir a largo plazo la extensión del análisis al conjunto de la fachada atlántica europea y en especial, por sus particularidades, a la Península Ibérica. El proyecto presenta un fuerte componente cartográfico; la información será obtenida a partir de diversas fuentes (fotografía aérea, imagen satélite, trabajo de campo…) y será integrada y analizada por medio de un Sistema de Información Geográfica. Se presentan en este trabajo las líneas maestras de dicho proyecto, sus fases de elaboración y el estado actual de su desarrollo.

ABSTRACT

In the context of the research on human/environment interaction of the UMR6566 (Civilisations Atlantiques et Archéosciences) Laboratory in western France, a workgroup aiming at the creation of a risk map for the management and protection of coastal archaeological heritage has been established ("ALERT": Archéologie, Littoral et Environnement). The inherent methodological interest of this tool and the existence of a similar concern in other regions should allow the extension of the analysis to the entire Atlantic Façade and, particularly, to the Iberian Peninsula. The project presents a high level of cartographic analysis; the information will be collected from several sources (aerial photography, satellite imagery, archaeological survey...) and will be integrated and analysed under a GIS platform. This paper briefly reviews the main guidelines of this project, its phasing and its current state of development.

Palabras clave: Patrimonio Arqueológico Litoral, Mapa de Riesgos, Sistemas de Información Geográfica, Teledetección, Fachada Atlántica, Oeste de Francia.

Key words: *Coastal Archaeological Heritage, Risk Map, Geographical Information Systems, Remote Sensing, Atlantic Façade, Western France.*

I. ARQUEOLOGÍA Y LITORAL

Nadie podrá negar que el cambio climático y el calentamiento terrestre son procesos que, en los últimos años, han adquirido una enorme actualidad. La subida del nivel del mar se presenta como una de las vertientes más evidentes de dichos procesos (si bien desde una perspectiva histórica sabemos que el medio natural es altamente cambiante), y la vulnerabilidad del litoral ha puesto en alerta a investigadores y administraciones (Devoir, 1912; Morzadec-Kerfourn, 1974; Giot, 1990; Laporte, 1996; Cassen y Vaquero, 2003). Sin embargo, los problemas del litoral derivan de multitud de otros factores que, en muchos casos por intereses económicos, han sido objeto de menor debate. La presión inmobiliaria sobre la costa, la afluencia turística, la deforestación, las infraestructuras industriales, etc., han contribuido al deterioro progresivo de dicho medio. Que sea ahora cuando se multiplican las acciones para frenar este deterioro se debe en parte a que esta alteración se ha hecho especialmente patente en los últimos tiempos. Como es lógico, el conjunto de evidencias arqueológicas que se sitúan en contexto litoral está inevitablemente ligado al destino de éste. Pese a ello, las acciones dirigidas a la valoración del riesgo de destrucción de los yacimientos, de su gestión y de la intervención sobre ellos son aún escasas. Existen no obstante iniciativas específicas a escala europea en esta misma línea que ya han dado o que están dando sus frutos. Es el caso de, por ejemplo, los proyectos de Mapas de Riesgo ARCHI-MED (Italia, Italia-Grecia)[1], o las iniciativas del grupo SCAPE Trust (Escocia). Esta preocupación se hace igualmente patente en el aumento de trabajos de tipo arqueológico en las publicaciones especializadas en el ámbito litoral (p.e. los artículos de Carrasco *et al.,* 2007, para el Algarve portugués, o el de Breen y Forsythe, 2001, para Irlanda), y en la organización de sesiones científicas específicas sobre la gestión arqueológica del litoral (p.e. en la última reunión de la EAA en Croacia, en septiembre de 2007). Como se detalla a continuación, ALERT presenta varias especificidades respecto a la gran mayoría de estas iniciativas.

II. "ALERT": UNA RESPUESTA AMBICIOSA A ESCALA REGIONAL

En el caso del Oeste de Francia, los trabajos sobre el litoral forman parte de la larga tradición investigadora de la región. Dentro de la Unidad Mixta de Investigación 6566 *(Civilisations Atlantiques et Archéosciences)* existe desde hace varios años una línea de trabajo específicamente dedicada a su estudio. En este contexto, se ha constituido un grupo de trabajo que agrupa bajo la denominación de "Proyecto ALERT" *(Archéologie, Littoral et Environnement)* a arqueólogos, geólogos y geógrafos[2] con el fin de dar soluciones específicas a la problemática de la vulnerabilidad del registro arqueológico (Fig. 1 y Fig. 2) en el contexto litoral del oeste de Francia (regiones de Baja Normandía, Bretaña y Países del Loira). Algunos de las líneas directrices del proyecto han sido objeto de presentaciones a congresos pero permanecen inéditas[3]. Quedan así integrados en el análisis unos 470 términos municipales, y unos 2974 km de línea de costa (Fig. 3). El objetivo es doble; por un lado, realizar un estado de la cuestión exhaustivo del registro arqueológico en los términos municipales de la zona que presentan fachada litoral o zonas de estuario; por otro, elaborar una herramienta de gestión y análisis de los datos sobre los yacimientos y su estado de conservación. Nos centraremos en este apartado en las características y elaboración de esta última.

---

1. Sobre el Proyecto Archi-MED véase : http://www.icr.beniculturali.it/rischio/Archimed/Archimed.htm

2. Este proyecto se desarrolla en el contexto de la Confederación CAREN, en colaboración con los miembros del equipo temático Litoral de l'UMR6566, con el equipo de Geociencias de Rennes y del Laboratorio COSTEL (UMR LETG).

3. Daire, M.-Y. y López-Romero, E. Inédito: "'ALERT' coastal project: an under construction answer to the regional-scale consequences of a universal threat". *Managing the archaeological record,* 13th EAA Annual Meeting Conference, Zadar (Croatia), 18 a 23 de septiembre de 2007. Daire, M.-Y., Molines, N. y López-Romero, E. Inédito: "Érosion littoral et patrimoine culturel: mais, que font les archéologues?". *Congrès Scientifique sur les Environnements Côtiers,* Vannes (Morbihan, Francia), 6 a 7 de septiembre de 2006.

Figura1. Ejemplo de yacimiento arqueológico sujeto a riesgo: horno de sal de la Edad del Hierro (isla de Triélen, Finistère, Bretaña. Fotografía M.-Y. Daire).

Figura 2. Ejemplo de yacimiento arqueológico sujeto a riesgo: Dolmen du Crapaud (Billiers, Ile-et-Vilaine, Bretaña. Fotografía M.-Y. Daire).

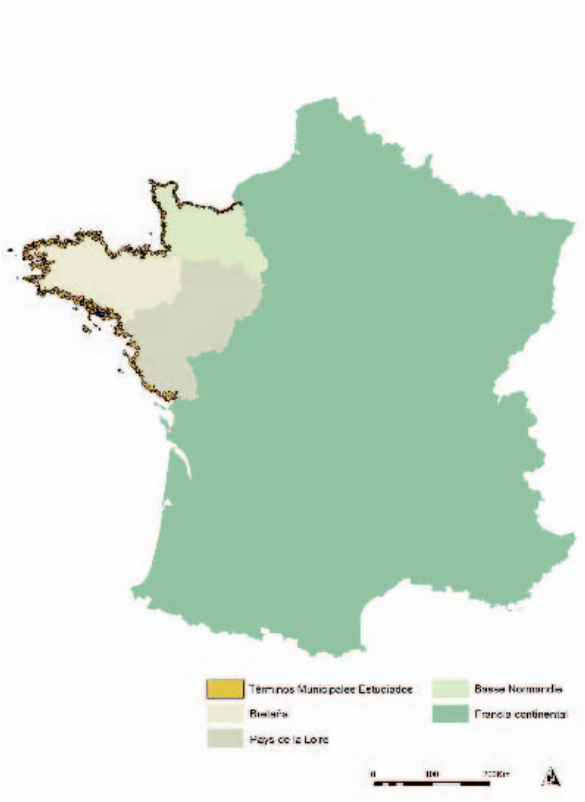


Figura 3. Localización de la zona de estudio y términos municipales implicados (regiones de Bretaña, Basse Normandia y Pays de la Loire).

A partir de la consideración de las *amenazas* y *vulnerabilidad* a la que está sometida una población es posible evaluar el *riesgo* al que potencialmente está sujeta dicha población. Un *mapa de riesgos* se refiere, así pues, a la representación cartográfica de dicho riesgo, que aparece por lo general expresado en forma de niveles o categorías *(vg.* Coburn *et al.,* 1994). La idea de elaborar un mapa de riesgos para la gestión del patrimonio arqueológico litoral surgió de la observación de útiles similares en otros ámbitos de investigación y ordenación del territorio (medio ambiente, geología, hidrografía…). Sin embargo, a pesar de que estas herramientas nos sirven de referencia, las necesidades específicas de nuestro objeto de estudio necesitan de reflexiones adaptadas. Así, la población sujeta a riesgo pasa en nuestro caso a estar constituida por el conjunto de yacimientos arqueológicos de la región de estudio, las amenazas provienen de factores naturales, antrópicos y jurídicos, y la vulnerabilidad depende no sólo de las medidas de protección del entorno sino también de las propias características de los yacimientos (v. *infra.*).

Gracias a las herramientas actuales en materia de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección la elaboración de un mapa de estas características adquiere una nueva dimensión, gracias sobre todo a las posibilidades de análisis y actualización de los datos en él contenidos. A diferencia de gran parte de las iniciativas de investigación en materia de patrimonio arriba enumeradas, ALERT se propone un análisis integral del territorio litoral a una resolución espacial de 50 metros. Esta resolución, que responde a la unidad mínima de superficie de los modelos digitales del terreno del IGN francés, permite la integración de variables incluso a nivel microespacial (como por ejemplo la erosión puntual debida al tránsito de personas). Por otro lado, el carácter regional del proyecto permite el establecimiento de criterios homogéneos de comparación y discusión de los resultados. Asimismo, la vertiente diacrónica, con la consideración de la globalidad de los yacimientos arqueológicos, constituye una preocupación de base del proyecto (algo que no se da de forma explicita en el caso de herramientas como el mapa de riesgo Archi-Med, que presenta una faceta principalmente orientada al patrimonio monumental).

Las fuentes de información que serán empleadas en el proyecto proceden en parte de organismos oficiales de investigación y administración (IGN Francia, Agencia Europea del Medio Ambiente, Instituto Francés del Medio Ambiente, Instituto Geológico y Minero francés, Red CAREN de investigación, etc.), en parte de la elaboración propia (obtención de cartografía temática a partir de imágenes de satélite, nivel máximo de las mayores mareas anuales, múltiples observaciones a nivel de yacimiento, etc.).

Si bien las dos vertientes del proyecto se han puesto en marcha de forma paralela, los trabajos de inventario y prospección arqueológica presentan la particularidad de poder funcionar de forma autónoma (proporcionando sus propios resultados de manera coherente). Por su parte, el mapa de riesgos necesita la información obtenida a partir de ellos para poder proceder al análisis final. Teniendo esto presente, las fases de elaboración del mapa de riesgos quedan definidas de la forma siguiente:

1) Identificación de las amenazas a las que está sujeto el registro arqueológico, clasificadas en tres grandes categorías: amenazas de tipo natural, amenazas de tipo antrópico y amenazas de tipo jurídico. Estas últimas se refieren a problemas ligados a la gestión municipal, y a la aplicación efectiva de las normativas y legislación vigentes.

2) Caracterización de los elementos relativos a la vulnerabilidad del registro arqueológico que no precisen de la disponibilidad de los inventarios: existencia de normativas y legislación en materia de protección arqueológica, áreas naturales protegidas, etc.

3) Caracterización de los elementos relativos a la vulnerabilidad del registro arqueológico que precisen de la disponibilidad de los inventarios: estado de conservación, estructuras de delimitación del entorno, control de acceso, tipo de estructuras del yacimiento, materias primas de su construcción, características sedimentológicas, etc.

4) Discusión y puesta en marcha de un método de clasificación de los niveles de riesgo: una primera propuesta plantea una clasificación sobre un máximo de 65 puntos.

5) Integración SIG de las variables y reclasificación en niveles de riesgo: se trata de uno de los puntos clave de la elaboración, en especial en lo que se refiere al ajuste cartográfico de las diferentes variables.

6) Análisis SIG-Población: análisis consistente en el cruce de la información entre el mapa de valores de riesgo y el conjunto de yacimientos arqueológicos.

7) Resultados: el resultado del cruce de la información da lugar a al menos cuatro tipos de documentos finales, a saber, una estimación del riesgo al que están sujetos los yacimientos a nivel regional (Fig. 4), a nivel de término municipal, por periodo cronológico, y en tanto que entidad individual. Se establecerán igualmente mapas de niveles de vulnerabilidad de los yacimientos basándose en las observaciones realizadas exclusivamente sobre el terreno. Mientras que en el caso del riesgo el procedimiento de obtención del resultado final se centra en la reclasificación de valores y en el álgebra de mapas, en el caso de los mapas de vulnerabilidad se procederá a la interpolación de valores según una escala definida de antemano por medio de fichas de campo (Fig. 5).

8) Actualización: gracias a la integración en un Sistema de Información Geográfica es posible realizar una actualización periódica de los datos de amenazas, vulnerabilidad y de la población. Un ejemplo paradigmático viene dado por la posibilidad de seguimiento de la evolución de la línea de costa o los cambios en los usos del suelo por medio del análisis de imágenes de satélite.

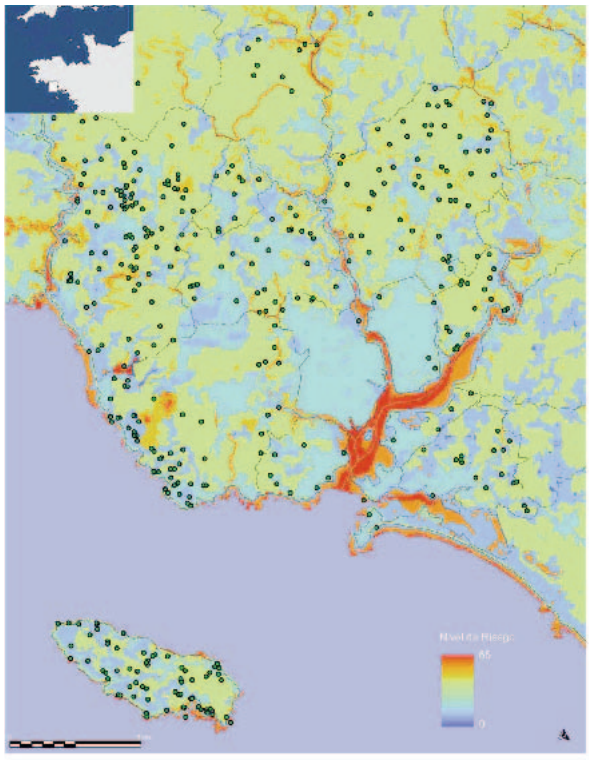


Figura 4. Ejemplo de resultado de mapa de riesgos para la región del suroeste del Morbihan (Bretaña), en una escala de 0 a 65. Mapa estimativo de interés estrictamente metodológico (valores atribuidos de forma aleatoria sobre un número limitado de variables).

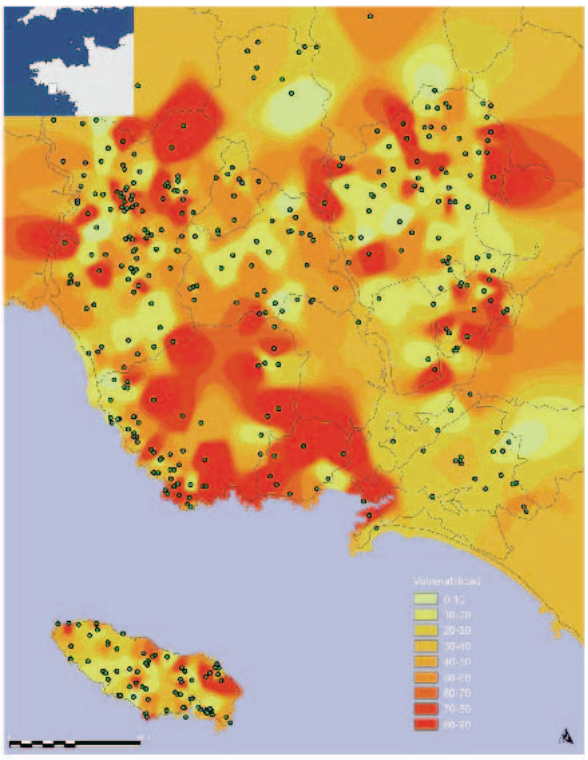


Figura 5. Ejemplo de resultado de mapa de vulnerabilidad de yacimientos para la región del suroeste del Morbihan (Bretaña), en una escala de 0 a 10. Mapa estimativo de interés estrictamente metodológico (valores atribuidos de forma aleatoria).

III. ESTADO DE DESARROLLO Y PERSPECTIVAS

El proyecto ALERT está en curso de elaboración. Una de las primeras actuaciones del proyecto comprende la puesta en marcha, en el ámbito de las tres regiones que componen la zona de estudio, de un protocolo común de recogida de la información para la constitución de una base de datos específica al ámbito del patrimonio cultural del litoral. En efecto, si bien la investigación arqueológica francesa a lo largo de las costas de La Mancha y del Atlántico ha demostrado desde hace tiempo un gran dinamismo, y pese a que el potencial de investigación continúa siendo extremadamente importante hoy en día, los datos adolecen sin embargo de un fuerte grado de dispersión (entre organismos públicos y privados, y entre servicios del Estado) y son altamente heterogéneos. La constitución de esta base documental necesita, paralelamente a una reflexión de fondo sobre su finalidad y puesta en funcionamiento, un consenso con los diferentes colaboradores y servicios implicados. Esta práctica se ha beneficiado rápidamente de una apertura interdisciplinar y de nuevas colaboraciones con geólogos, geógrafos y geomorfólogos sensibilizados con la cuestión del impacto de los cambios globales sobre el patrimonio litoral en sentido amplio.

Paralelamente a los procedimientos y reflexiones más propiamente teóricas evocadas aquí arriba, los trabajos de inventario arqueológico han comenzado.

- En la región del Loira, el litoral continental del departamento administrativo de Vendée ha constituido un terreno de prospecciones sistemáticas a pie, y el territorio de la isla de Noirmoutier es en estos momentos objeto de estudio.
- En la región de Bretaña, el procedimiento de elaboración del mapa de riesgos está siendo evaluado primeramente en dos sectores geográficos significativos; por un lado, en el estuario de La Vilaine (con unos 35 km de línea de costa y estuario) situado en la costa sur de Bretaña; por otro lado, en la península de Lanmodez-Pleubian (con unos 20km de línea de costa) situada en la costa de La Mancha.
- En la región de la Baja Normandía el sector de la península de la Hague está siendo objeto de prospecciones sistemáticas.

De manera puntual, varios enclaves han sido tomados como “observatorios” del impacto de los cambios del medio sobre el patrimonio arqueológico (por ejemplo, la isla de Triélen en el archipiélago de Molène en el finisterre bretón), efectuándose planimetrías, fotografías, diagnóstico y, en los casos más alarmantes, sondeos de urgencia.

IV. CONCLUSIÓN

El recurso a un mapa de riesgos para hacer frente a la gestión e intervención sobre los yacimientos arqueológicos presenta una serie de ventajas e inconvenientes. En primer lugar, la herramienta permite la integración de un número casi ilimitado de variables, con la sola condición de que éstas puedan ser representadas de forma cartográfica; dicho de otro modo, que sean variables espacializables. El recurso a los actuales Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección facilita la actualización de la información, haciendo que el mapa se convierta en un elemento activo que puede evolucionar al mismo tiempo que la investigación. El riesgo de afectación de los yacimientos arqueológicos puede ser estimado siguiendo criterios homogéneos en áreas geográficas relativamente amplias, siempre y cuando se haya garantizado previamente una escrupulosa homogeneidad a la hora de recoger la información. El formato de mapa de riesgos permite diferentes posibilidades de análisis y representación de los resultados, presentándose como una herramienta de comunicación intermedia entre la investigación y los agentes de la administración local y regional. Puesto que parte de una necesidad de actuación concreta y dirigida, se trata de un útil perfectamente adaptado al objeto de estudio. En contrapartida, la fiabilidad de los resultados depen-

de enormemente de la adecuada definición de las variables tenidas en consideración (escala, precisión, disponibilidad para el conjunto de la zona analizada…). Los problemas ligados a la integración SIG (ajuste, georeferenciación, etc.) pueden ocasionar errores o ruido en el resultado final, por lo que un proceso supervisado de depuración del producto final se hace necesario.

El proyecto ALERT iniciado en el seno de la UMR6566 propone una respuesta a las especificidades del registro arqueológico litoral del Oeste de Francia. Del éxito de sus resultados y de su puesta en común con la comunidad científica dependerá la extensión de su metodología a otras áreas de la fachada marítima francesa o europea.

REFERENCIAS

BREEN, C. y FORSYTHE, W. 2001: "Management and protection of the maritime cultural resource in Ireland". *Coastal Management* 29 (1): 41-51.

CARRASCO, A.R.; FERREIRA, Ó.; MATIAS, A. y DIAS, J.A. 2007: "Historic Monuments threatened by coastal hazards at Boca do Rio, Algarve, Portugal". *Coastal Management* 35 (2-3): 163-179.

CASSEN, S. y VAQUERO, J. 2003: *Les marches du Palais. Recherches Archéologiques sur les alignements de stèles et tertres funéraires néolithiques autour de la baie de Quiberon (Morbihan).* Laboratoire de Préhistoire Récente et Protohistoire de l'Ouest de la France. Université de Nantes.

COBURN, A.W.; SPENCE, R.J.S. y POMONIS, A. 1994: *Vulnerability and risk assessment.* United Nations Disaster Management Training Program. Second Edition. Cambridge.

DEVOIR, A. 1912: "Témoins mégalithiques des variations des lignes des rivages armoricains". *Bulletin de la Société Archéologique du Finistère* XXXIX: 220-239.

GIOT, P.-R. 1990: "Le niveau de la mer : changeant, fluctuant, mouvant". *Bulletin de l'Association Manche Atlantique Pour la Recherche Archéologique dans les Îles* 3: 5-16.

LAPORTE, L. 1996: "Les occupations néolithiques sur la façade atlantique du Centre-Ouest". En D. Guillemet y J. Peret (eds.): *Les sociétés littorales du Centre-Ouest atlantique, de la Préhisoitre à nos jours,* Actes du Colloque de Rochefort, 18-20 avril 1995, Mémoires de la Société des Antiquaires de l'Ouest et des Musées de Poitiers, 5e série, Tome IV: 51-73.

MORZADEC-KERFOURN M.-T. 1974: *Variation de la ligne de rivage armoricaine au quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux.* Mémoire de la Société Géologique Minéralogique de Bretagne, Rennes.

LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES EN LA ARQUEOLOGÍA DEL PAISAJE: UN EJEMPLO EN LA COMARCA DE LA VERA ALTA (CÁCERES)

THE USE OF MULTISPECTRAL IMAGINERY IN LANDSCAPE ARCHAEOLOGY: A CASE STUDIE IN THE "VERA ALTA" (CÁCERES, SPAIN)

CARLOS FERNÁNDEZ FREIRE

Instituto de Historia, CSIC. C/Albasanz 26-28. 28037 Madrid.

RESUMEN

Se presenta un caso de utilización de imágenes multiespectrales junto con otras variables geográficas en un proceso de modelización del paisaje actual a partir de productos de sensores remotos. La finalidad es la elaboración de un mapa temático de usos potenciales bajo unas condiciones de producción paleotécnicas. El objetivo es conseguir un documento que permita comparar los entornos productivos del poblamiento pre y protohistórico entre sí y con el poblamiento rural tradicional.

ABSTRACT

This paper shows a case study of multispectral imaginery usage, along with other geographical variables, within a modelization process of nowadays landscape through the use of remote sensing products. The aim is to elaborate a thematic map of potential land use under paleotechnical conditions of production. The purpose is to obtain a document that enables the comparison of productive environments between pre and protohistoric times and also against rural traditional settlement.

Palabras clave: Arqueología del Paisaje, modelización del paisaje, Extremadura, Teledetección, S.I.G.

Key words: *Landscape Archaeology, landscape modelization, Extremadura (Spain), Remote Sensing, G.I.S.*

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de imágenes provenientes de sensores remotos como base para la modelización del paisaje ha de ser entendida dentro de una estrategia de arqueología del paisaje dirigida a analizar la lógica locacional del poblamiento de un período o secuencia histórica. En este caso concreto se pretende generar un documento que permita analizar la relación entre la ubicación de los asentamientos y el potencial agrario del entorno.

Para ello debemos conocer la ubicación espacial del poblamiento que queremos estudiar, de cara a realizar un análisis de captación que podemos conceptualizar en diversos términos, desde los más clásicos ejemplificados en el trabajo de Vita Finzi y Higgs (Vita Finzi y Higgs, 1970) hasta nuevos enfoques en los que el territorio de captación no es más que un dispositivo analítico desprovisto de todo contenido teórico *(cf.* Parcero Oubiña, 2002: 59-60). Pero el objeto de esta exposición no es discutir el análisis locacional del poblamiento sino la elaboración de algunas de las variables que dan contenido al análisis, aquéllas relacionadas con la potencialidad agraria del terreno. Como aclaración previa resulta importante no confundir *paisaje agrario* con *paisaje agrícola* (Díaz Álvarez, 1982: 8), ya que el término agrario hace referencia a los espacios dedicados tanto a labores agrícolas como ganaderas y a las formas de organización que permiten llevar a cabo tales actividades. Es por lo tanto un término paisajístico, no tecnoeconómico.

Dentro de lo que actualmente denominamos *Arqueología del Paisaje* podemos distinguir dos aproximaciones a la conceptualización del entorno del poblamiento prehistórico. Una centra el objeto de su análisis en la posibilidad de reconstruir paisajes o entornos hoy desaparecidos, tiene como finalidad obtener una imagen fija de un espacio en un momento dado (Orejas, 1998: 12) mientras que la otra tiene un carácter experimental (Vicent García, 1991: 37). Desde el enfoque asumido en este trabajo, no se pretende recrear el paisaje agrario primitivo, sino generar un documento que permita, a partir de las características del paisaje actual, evaluar la potencialidad, agraria en este caso, del entorno de comunidades prehistóricas. El objetivo no es el paisaje en sí, sino el estudio de sociedades pretéritas.

Para ello partimos del paisaje actual considerado como registro arqueológico, en la medida en que conserva la impronta de la acción humana (Vicent García, 1998: 165), con la pretensión de someterlo a un proceso de "crítica histórica". Esto quiere decir que se plantea un proceso en el que "decapar" los usos más actuales o inviables para comunidades prehistóricas, a partir de información geográfica y, en los casos en los que sea posible, también histórica.

El fácil acceso a herramientas que permiten la modelización del entorno geográfico permite avanzar en el proceso de elaboración de un mapa de usos potenciales del suelo que plasme las posibilidades que ofrece el paisaje de cara a su explotación agraria en condiciones de producción paleotécnicas.

II. EL CASO DE ESTUDIO DE LA VERA ALTA

El trabajo que se presenta forma parte de la tesis doctoral *Paisajes agrario pre y protohistóricos en la comarca de La Vera Alta (Cáceres): un enfoque arqueo-geográfico*[1].

Dentro de este marco, el objetivo de la generación del mapa temático de potencialidad agraria es el de ofrecer un marco cuantitativo adecuado para contrastar la hipótesis central del trabajo, centrada en una

1. Fernández Freire 2008: *Paisajes agrarios pre y protohistóricos en la comarca de La Vera Alta (Cáceres): un enfoque arqueo-geográfico.* Dir. Juan M. Vicent García. UCM.

posible intensificación de los usos del suelo más aptos para una agricultura intensiva desde las primeras sociedades campesinas hasta la Edad del Hierro.

El documento final deberá por lo tanto reflejar la potencialidad del terreno en una zona muy concreta, con unas categorías lo suficientemente genéricas como para no constituir una interpretación histórica en sí mismas, pero lo suficientemente concretas como para reflejar la realidad del paisaje de una zona no demasiado extensa.

La Vera, una comarca natural muy bien definida por sus características de clima y relieve, se sitúa entre la vertiente Sur de Gredos y el río Tiétar, al Norte de la provincia de Cáceres. Está compuesta por 13 municipios, de los cuales sólo los de Madrigal de la Vera, Talaveruela de la Vera, Valverde de la Vera, Viandar de la Vera y Villanueva de la Vera forman parte de este estudio, la parte comúnmente conocida como Vera Alta, no porque su altitud sea superior a la de la zona occidental sino por su emplazamiento en la ladera misma de la sierra y su carácter más marcado de montaña (Higuero Malpartida, 1988: 8).

III. EL USO DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

El hecho de tomar imágenes provenientes de sensores remotos como punto de partida responde a su versatilidad y fácil acceso hoy en día. Por un lado ofrecen una gran cantidad de productos, adecuados para estudios a diferentes escalas, dada la variedad de resoluciones espaciales disponibles, y por otro, el acceso a imágenes que recojan determinadas franjas del espectro electro-magnético permite "mapear" diferentes recursos en función de los objetivos planteados desde la investigación histórica.

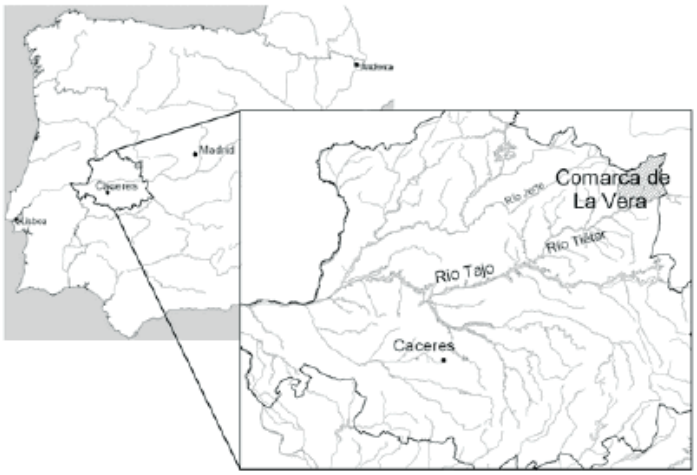


Figura 1. Localización de La Vera.

En este caso el primer paso necesario era modelizar los usos del suelo actuales, por lo que se ha utilizado el producto de teledetección más extendido, que presenta además una resolución espacial adecuada para un trabajo a escala regional:

- Satélite: Landsat7.
- Sensor: ETM+, bandas multiespectrales.
- Resolución: 30 m (bandas multiespectrales), 7 bandas, 8 bits.
- Datos de la toma: Fecha – 12 de Enero de 2000, Elevación solar – 62,9, Azimut – 125,8.

IV. PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

La imagen original fue obtenida a través de la Image Database 2000 ya georreferenciada mediante parámetros orbitales en coordenadas geográficas WGS84 y se reproyecta a coordenadas planas UTM, elipsoide Internacional 1909, datum europeo de 1950. El método utilizado es el del vecino más próximo, para evitar la alteración de los niveles digitales (ND) de la imagen y aunque ello conlleve una pérdida de definición de los rasgos lineales, empeorando la interpretación visual, no es un problema de cara a la clasificación digital de la imagen.

Preparación: La imagen obtenida es una escena completa, que supera con creces el ámbito de La Vera Alta, por lo que el primer paso consiste en realizar un recorte para trabajar a partir de aquí sólo con la zona de la tesis. Aparte de esta necesaria preparación también se ha optado por trabajar con valores de reflectividad en lugar de hacerlo con los Niveles Digitales (ND) de la imagen original, ya que esto supone operar con un parámetro físico relacionado con las propiedades ópticas de los objetos observados.

Conversión de los ND originales a valores de reflectividad: La reflectividad es la relación entre la energía reflejada y la incidente, que varía de 0 a 1. Varía en las diferentes bandas del espectro, por lo que debemos añadirle el calificativo de espectral (esta variación es precisamente la que nos permite discriminar las diferentes cubiertas).

Para calcular los valores de reflectividad es necesario calcular primero la radiancia a través de los parámetros de sesgo y ganancia del sensor. A continuación se puede calcular la reflectividad, si conocemos los datos de la toma de la imagen:

Lámina 1. Combinación en falso color (4-3-2) de la imagen ETM+ en la zona de la Vera Alta.

$$\rho^* k = \frac{K \pi L_{sen,k}}{E_{0,k} \cos\theta_i}$$

Donde $L_{sen,k}$ = radiancia espectral en la banda k; $E_{0,k}$ = irradiancia solar en el techo de la atmósfera (para esa banda del espectro), conocida a través de las tablas solares; ρ^*k = la reflectividad aparente de la cubierta en esa banda; θ_i = ángulo cenital del flujo incidente formado por la vertical y los rayos solares y K = factor corrector de la distancia Tierra-Sol (Chuvieco, 2002: 326).

El problema es que este método no contempla las influencias atmosféricas y asume un terreno plano y una observación vertical. La observación vertical no es asumible para sensores como el SPOT-HRV o el AVHRR, pero sí para la familia TM montada en plataformas Landsat, por lo que no supone ningún problema.

Para conocer la reflectividad real es necesario complicar esa fórmula con la estimación de la transmisividad de la atmósfera para el flujo ascendente y la radiancia aportada por la dispersión atmosférica (Chuvieco, 2002: 327-9), pero los procedimientos para abordar estas correcciones son muy laboriosos y requieren datos muy precisos de la atmósfera en el momento de la toma de la imagen, por lo que se han asumido condiciones atmosféricas estándar.

El último factor que hay que tener en cuenta en el cálculo de las reflectividades es el relieve: el efecto topográfico se ha abordado mediante el uso del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) desarrollado para la zona, que ha sido remuestreado a un tamaño de píxel de 25 metros para que casara con la imagen satélite. Los únicos datos que necesitamos conocer provienen también de la cabecera de la imagen: azimut y ángulo cenital solar.

V. CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN LANDSAT

Clasificación digital. Clasificación supervisada con 9 clases: Tras la realización de varias clasificaciones, no supervisadas y supervisadas, con diferente número de clases y empleando diferentes bandas de la imagen original, se opta por una clasificación supervisada de 9 clases realizada mediante un clasificador bayesiano óptimo de máxima verosimilitud[2] (implementado en la aplicación informática SOV) empleando las siguientes bandas:

- B2 (0.52 – 0.60µm)
- B3 (0.63 – 0.69µm)
- B4 (0.76 – 0.90µm)
- B5 (1.55 – 1.75µm)
- B7 (2.08 – 2.35µm)

La eliminación de la banda 1 se debe a su alta correlación con la 2 (0'97), por lo que sólo introduce ruido en la clasificación, mientras que la banda 6, perteneciente a la región del infrarrojo térmico fue eliminada previamente, antes la conversión a reflectividades de la imagen ETM+ original.

La creación de las clases viene determinada por las condiciones específicas del terreno y fecha de toma de la imagen, teniendo en cuenta el estado fenológico de la vegetación y las especies cultivadas en cada zona. Como ya se ha apuntado se trata de una clasificación supervisada, lo que quiere decir que es el usuario quien determina las áreas de entrenamiento, teniendo en cuenta una serie de criterios convenientes para facilitar una correcta clasificación, como es evitar la elección de píxeles vecinos, para minimizar el efecto de la autocorrelación espacial, buscar abarcar toda la variabilidad de cada clase y una distribución de las áreas de entrenamiento que abarque toda la imagen.

A continuación se desglosan las clases con una somera justificación de su elección:

1. Agua: muy poco presente en la zona en forma de grandes masas claramente identificables en una imagen con una resolución espacial de 25 m, ya que sólo contamos con dos embalses, de relativa importancia: Gualtaminos y Minchones. En todo caso, contamos con información vectorial sobre hidrografía y su presencia en la clasificación no resulta relevante de cara a la clasificación de los tipos de terreno.

2. La lógica bayesiana supone la adjudicación de probabilidades *a priori* para cada clase de salida, que luego serán modificadas en un proceso iterativo. Esto se realiza en función de la extensión superficial ocupada por cada una, hecho que se ha tenido en cuenta a la hora de establecer las áreas de muestreo, intentando primar aquellas con mayor extensión superficial sobre el terreno.

2. Veza: Se trata de la arveja silvestre *(Vicia cracca,* que no debe confundirse con la arveja común o guisante, *Pisum sativum),* una planta trepadora silvestre de la familia de las fabáceas. Sus tallos pubescentes alcanzan los 2 metros de altura y se encuentra generalmente en sitios húmedos, orillas de ríos, laderas de caminos, setos o campos de cultivo. Se trata de un cultivo que se suele alternar con el del tabaco en los campos de cultivo ubicados en las zonas que permiten un mayor rendimiento agrícola, junto con el pimiento, maíz, pradera o cereales, siendo el único de todos ellos que está plantado y en pleno crecimiento en la época de obtención de la imagen, enero, razón por la cual se ha clasificado independientemente a pesar de su escasa extensión superficial.
3. Bosque: Ubicados principalmente en altitudes superiores a las de los pueblos actuales, están constituidos principalmente por roble melojo, pudiendo aparecer también castaños y, en zonas de mayor pendiente, enebros. También hay presencia de chopos, sobre todo en las márgenes de los ríos, pero su respuesta espectral difiere de la del resto de especies arbóreas de la zona, siendo clasificados muchas veces como veza, problema que se solucionará más adelante.
4. Suelo desnudo: Zonas de escasa o nula vegetación ubicadas mayoritariamente en las mayores altitudes, por encima de los bosques y monte bajo, en las que el aprovechamiento agrícola es inexistente, aunque esta clase también incluye algunos campos cultivables en barbecho en el momento de obtención de la imagen, que en el siguiente paso serán correctamente reclasificados.
5. Monte bajo: Formado principalmente por escobares y jarales, que suponen dos etapas en la degradación del anterior melojar, apareciendo las jaras en los suelos más erosionados y cantuesales y tomillares en las zonas aún más degradadas (Amor Morales, 1994: 54). Sus características han provocado la confusión con otras dos clases. Por un lado con bosques de escasa entidad, lo que no resulta muy problemático, ya que para la obtención del documento final estas dos clases se unirán, dadas las posibilidades que presentan de cara al aprovechamiento humano y la probabilidad de que gran parte del monte bajo fueran bosques en el pasado. La otra clase con la que entra en conflicto es con la que representa un aprovechamiento agrícola no tan intensivo como en la zona de cultivos herbáceos, a base de olivar y otro tipo de especies que se detallan a continuación.
6. Olivar – higueras: En el entorno más próximo a los pueblos es muy abundante el cultivo de estas dos especies, que suelen presentarse juntas. La estructura parcelaria y las condiciones climatológicas de La Vera hacen de esta terraza media una zona en la que también abunda el policultivo de diversos frutales en parcelas muy pequeñas, lo que impide que en la imagen se puedan distinguir adecuadamente, quedando todo ello incluido en esta clase nombrada por los cultivos que presentan mayor extensión superficial. Esta situación provoca, no sólo una mezcla de signaturas a nivel sub-píxel, sino también una gran diversidad en la respuesta espectral de esta clase que ha llevado a una clara sobrevaloración en la primera clasificación, incluyendo amplias zonas que corresponderían a la clase de monte bajo, un problema resuelto en gran medida durante la siguiente fase de la clasificación. En todo caso son áreas en las que un mayor aprovechamiento agrícola ha sido posible en la actualidad gracias al uso de fertilizantes y abonos, ya que el terreno sobre el que se ubican mayoritariamente es a priori no laborable, según la clasificación agrológica del M.A.P.A.
7. Campos de labor: La mayor parte de las zonas en las que predomina el cultivo de tabaco y pimiento se encuentran aún sin sembrar en enero, quedando englobados muchos de ellos en la categoría de suelos desnudos, aunque otra parte presenta una respuesta espectral diferenciada, ya sea por la presencia de rastrojos en superficie o por otras características. En todo caso para ellos se construye esta categoría, que será subsumida más adelante en otra más general de cultivos herbáceos.
8. Pueblos: Delimitación de áreas construidas, los cinco pueblos de la zona (Viandar, Talaveruela, Valverde, Villanueva y Madrigal) más una urbanización próxima a Villanueva (Las Solanas) que también aparece reflejada. La alta respuesta espectral en casi todas las bandas provocada por el uso de determinados

materiales de construcción se ve un poco matizada en este caso, al tratarse de pueblos de escasa entidad en los que abundan las construcciones tradicionales, pero no ha impedido que algunas zonas de cultivos vigorosos cercanos al Tiétar y las manchas de nieve de las mayores altitudes se vieran englobadas en esta clase, efecto que se intentará corregir en el siguiente paso de la clasificación.

9. Praderas: Están presentes en la vega del Tiétar, como uno de los aprovechamientos que se alterna con otros cultivos y en algunas zonas de la terraza media, constituyendo los pastos de invierno, pero donde su presencia tiene más entidad es en las zonas de alta montaña, áreas a las que tradicionalmente se ha llevado el ganado en verano. Su clasificación presenta algún problema de difícil solución, al menos por el momento, ya que algunas zonas de vegetación especialmente vigorosa cercana a cursos de agua, posiblemente bosques, han sido incluidas erróneamente en esta clase. En todo caso su distribución, si exceptuamos algunas de esas zonas próximas a la garganta de Minchones, parece corresponderse en gran medida con el paso de cañadas tradicionales.

Fase de entrenamiento: Se trata de obtener el rango de ND que identifica a cada categoría en todas las bandas que intervienen en la clasificación. Diversos factores introducen cierta dispersión en el comportamiento espectral medio de cada cubierta, por lo que cada categoría no se define por un ND concreto, sino por un conjunto de ND, por lo que resulta necesario seleccionar una muestra de píxeles para cada categoría de interés. A partir de ellos se calculan los ND medios y la variabilidad (en todas las bandas) para cada categoría.

Esto se puede realizar de dos maneras:

- Supervisada: Parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual el usuario selecciona las muestras para cada categoría.
- No supervisada: Búsqueda automática de grupos de valores homogéneos. Para el trabajo con la imagen de La Vera se han seleccionado de forma supervisada las áreas de entrenamiento, es decir, las áreas representativas de cada categoría. A partir de ellas el ordenador calcula los ND que definen cada clase.

Las áreas se han definido a partir de información previa, particularmente el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000, la aproximación de una primera interpretación visual realizada a partir de diferentes combinaciones de bandas de la imagen Landsat (principalmente 5-4-3, 4-3-2 y 7-5-3) y datos recogidos sobre el terreno durante los trabajos de prospección arqueológica.

En la selección de las áreas de entrenamiento se ha buscado, en todo caso, cumplir una serie de requisitos que garanticen un adecuado tratamiento estadístico de los resultados, y una mejor clasificación, por lo tanto. Así, se ha intentado en todo caso reunir en las áreas de entrenamiento de cada clase la variabilidad que ésta presenta sobre la zona de trabajo, seleccionando siempre puntos de diferentes sectores de la imagen, intentando cubrir la variabilidad de cada clase, además de un número superior siempre a 10 veces el número de bandas (se posicionaron un total de 2.480 puntos muestrales). También se han tenido en cuenta los posibles efectos negativos de la autocorrelación espacial, por lo que se ha evitado seleccionar áreas, optando por trabajar siempre con puntos sueltos.

A partir de las áreas de entrenamiento se puede evaluar la separabilidad entre clases y su adecuación realizando un gráfico de las medias de cada clase para cada banda. El resultado ha de guardar la mayor semejanza posible con las signaturas espectrales propias de cada cobertura, y una diferenciación clara entre ellas (ver figura 2).

Lo más significativo es la pendiente que todas las clases relacionadas con especies vegetales muestran en el paso de la banda 3 a la 4, es decir, del rojo al infrarrojo próximo, lo que es totalmente coherente con

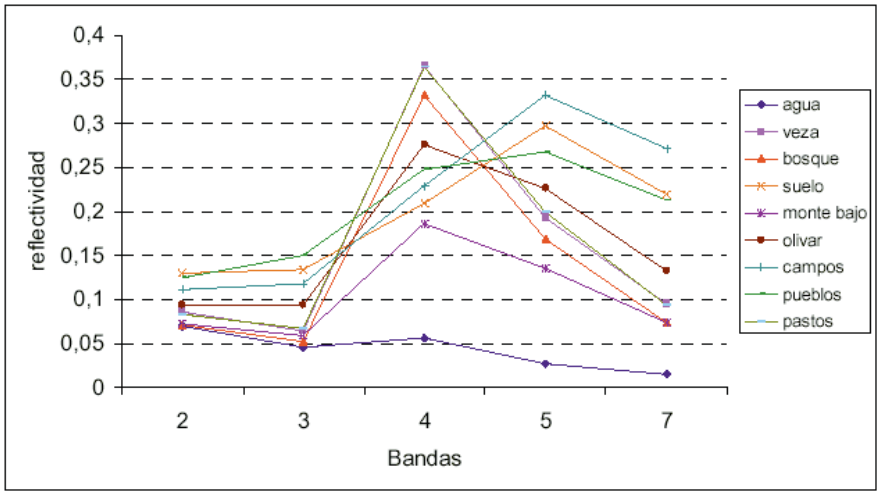


Figura 2. Gráfico de los vectores de medias para evaluar la separabilidad entre clases.

las características espectrales de la vegetación. El agua presenta valores muy bajos en todas las bandas, excepto en la 2, ya que las longitudes de onda cercanas al verde (0,5 µm) pueden llegar a penetrar hasta más de 10 metros, reflejando las partículas en suspensión en el agua. Como nota curiosa está la alta reflectividad de la clase de "urbano" o "pueblos" en la banda 3, debida seguramente al color rojizo de las tejas, que se puede apreciar en un análisis visual de la imagen en color natural.

Por otro lado, la bondad de la clasificación realizada puede ser medida mediante el coeficiente de aceptación kappa, que varía entre -1 y 1 (el -1 indica total desacuerdo, el 0 indica que la coincidencia no es mejor que la producida al azar y el 1 indica total acuerdo o coincidencia, ver tabla 1).

Aunque el coeficiente general es bastante adecuado, hay ciertas categorías que presentan problemas de clasificación, problemas que se intentarán resolver más adelante.

Kappa general	*0,8666*
Agua	0,9682
Veza	0,3941
Bosque	0,8679
Suelo	0,9022
Monte bajo	0,9042
Olivar – higuera	0,8125
Campos arados	0,9277
Pueblos	0,936
Pastos	0,9328

Tabla 1. Coeficiente Kappa.

Fase de asignación: Consiste en asignar a cada uno de píxeles de la imagen una clase en función de su respuesta espectral, en un proceso realizado por la aplicación informática (SOV, en este caso) que da como resultado un documento de carácter temático de tantas clases como se hayan definido en las áreas de entrenamiento.

Aunque existen diversos clasificadores, el más comúnmente utilizado es el *clasificador de máxima probabilidad,* que da por supuesto que los valores de reflectividad dentro de cada clase se ajustan a una distribución normal, y calcula su probabilidad de pertenencia a cada clase en función de la media y la desviación típica de cada categoría.

El clasificador empleado, a través de la aplicación SOV, es el *clasificador bayesiano de máxima probabilidad.* El clasificador bayesiano óptimo asigna unas probabilidades *a priori* para cada clase basadas en la superficie que ocupa, permitiendo una mejora sensible del resultado final de la clasificación.

Clasificación experta: Como se ha podido ver, la clasificación original presentaba ciertas deficiencias que resulta preciso eliminar mediante el uso de información auxiliar sobre el terreno que nos ayude a decidir qué clase resulta más adecuada en cada caso gracias al conocimiento que tenemos del terreno. Es un proceso en el que intervienen distintas variables conjugadas mediante reglas establecidas *ad hoc* para la zona de estudio. Estas variables son:

- La clasificación supervisada de 9 clases.
- El MDE generado a partir de las curvas de nivel a escala 1:10.000 y remuestreado a un píxel de 25 metros para adecuarse a la resolución de la imagen Landsat.
- La cartografía vectorial de clases agrológicas a escala 1:50.000.
- Un índice normalizado de vegetación (NDVI) producto de una combinación lineal entre las bandas del rojo y del infrarrojo próximo de la imagen Landsat original:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

- La componente "verdor" del *tasseled cap,* documento que refleja ciertas características físicas del terreno, generado también como una combinación lineal a partir de la imagen Landsat original.

Mediante la combinación de la información contenida en estas variables se busca la clasificación definitiva de la imagen en las siguientes categorías, mejoradas a partir de la primera clasificación:

1. Agua
2. Cultivos herbáceos
3. Bosque
4. Suelo desnudo
5. Monte bajo
6. Cultivos leñosos
7. Urbano
8. Pradera
9. Nieve

Esto se realiza a partir del establecimiento de las reglas que se exponen en forma esquemática en la figura 3.

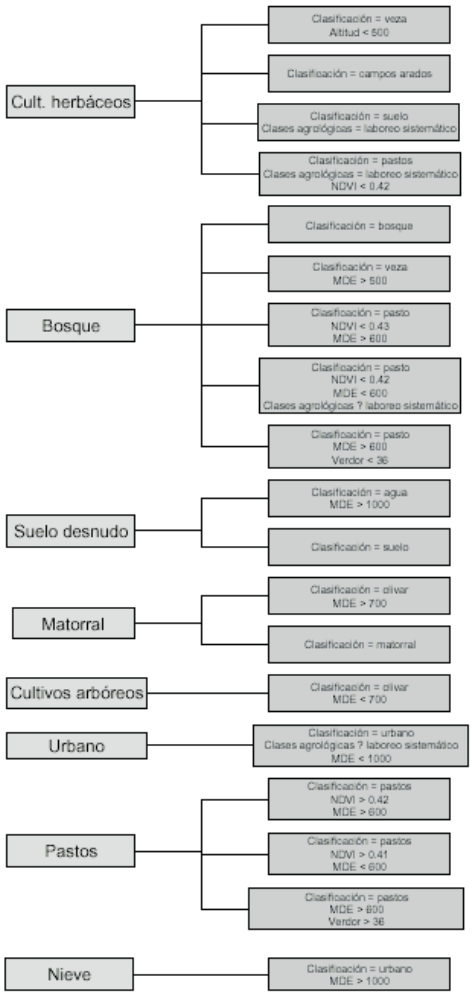


Figura 3. Reglas para combinar las variables utilizadas en el proceso de adecuación de la primera clasificación.

VI. GENERACIÓN DEL DOCUMENTO TEMÁTICO DE POTENCIALIDAD AGRARIA

Se trata de un documento cuya utilización puede revestir cierta polémica, dado el riesgo de "actualismo" que supone. Sin embargo argumentaremos la necesidad de caracterizar la potencialidad económica del territorio y las posibilidades que la elaboración de este documento nos brinda de avanzar en la crítica histórica al paisaje actual o al menos, de evitar una interpretación demasiado estricta del mismo, favoreciendo la creación de categorías generales que puedan dar cuenta de elementos y factores de larga duración constituyentes del paisaje.

El documento temático obtenido a partir de la clasificación de la imagen Landsat ETM+ es la base para la elaboración de un nuevo documento que refleje la potencialidad del terreno para uno u otro tipo de explotación. Ante el hecho de que partir de un documento de tipo *land cover*, es decir que refleja la ocupación del suelo en el momento concreto de la toma de la imagen, puede dar pie a críticas de actualismo, resulta necesario recordar diversos argumentos.

Por un lado, no buscamos en ningún caso la reconstrucción positiva del paisaje prehistórico, objetivo que por otra parte considero inalcanzable, sino la creación de un documento que permita contrastar determinadas hipótesis planteadas sobre las características del poblamiento prehistórico y basadas en la explotación diferenciada del territorio. Para ello se busca plasmar el uso potencial del suelo según los parámetros que intervienen en nuestro modelo explicativo y que está relacionado principalmente con la posibilidad de una explotación agrícola más o menos intensiva, así como con la del establecimiento de sistemas de regadío aprovechando la orografía.

La clasificación de la imagen Landsat indica los usos actuales, posibilitados en muchos casos por la disponibilidad de sistemas de elevación del agua con que no se contaba antiguamente, así como por el empleo de fertilizantes y abonos no naturales. Algunas de las características del terreno son recogidas en los SIG y pueden servir para matizar esta realidad actual a través de un proceso "decapante". La consideración del paisaje como una realidad históricamente configurada se puede implementar hasta cierto punto en la construcción de este nuevo documento temático, eliminando regadíos en zonas donde la escorrentía natural del terreno no lo permitiría, otorgando un mayor peso forestal a zonas de monte bajo producto de la degradación de antiguos bosques que tan acentuada se vio durante la Edad Media (Clemente Ramos, 2001: 17-21), estableciendo grados de dificultad al cultivo según las pendientes o tomando en consideración las calidades de los suelos.

Para este procedimiento también es necesario el uso de información adicional:

Drenaje: Capa generada basándose en el principio de que el agua fluye cuesta abajo (por gravedad) y siguiendo el camino más pronunciado. El agua de lluvia fluye cuesta abajo en una dirección predecible y se junta con flujos procedentes de otras partes del paisaje. Cuando se acumula flujo por encima de un umbral, se forma una corriente. El procedimiento requiere primero la generación de una capa de dirección del flujo en la que se establece hacia dónde drena cada celda y a partir de ella se creará la capa de acumulación, en la que se establece, para cada píxel, cuántos píxeles vierten sus precipitaciones en él.

De esta forma la mayor o menor acumulación de flujo es un buen indicador de la posibilidad de establecer sistemas de regadío por simple gravedad, sin necesidad de elevar el agua. Para trabajar con esta capa se ha transformado a una escala logarítmica en base 10, de forma que el rango de datos varía desde 0 hasta 5'98, aunque a partir de 3'8-4 las diferencias no sean relevantes, puesto que se trata ya exclusivamente de los propios cursos de los ríos. La primera cuestión que surge es si la distribución del drenaje realmente afecta a la localización de los diferentes cultivos, pregunta a la que podemos responder tabu-

lando en el SIG las capas de acumulación de drenaje y clasificación de la imagen satélite. En la figura 4 se muestran los porcentajes acumulados de cada clase en función del drenaje de la zona en que se encuentran.

Aunque a simple vista las diferencias no parecen muy significativas, la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov nos sacará de dudas mediante la comparación de nuestros datos con una distribución uniforme[3] (ver tabla 2):

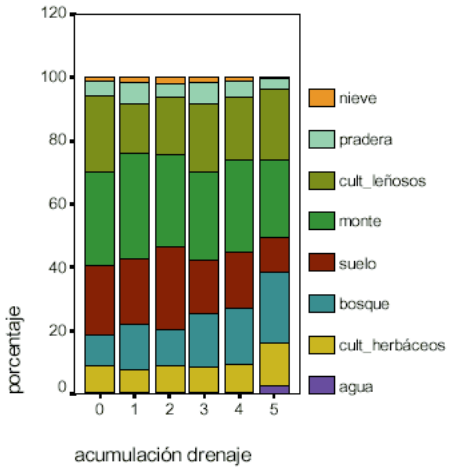


Figura 4. Clases de terreno en función de la acumulación de drenaje.

	AGUA	CULT_HER	BOSQUE	SUELO	MONTE	CULT_LEÑ	PRADERA	NIEVE
N	6	6	6	6	6	6	6	6
Parámetros uniformes (a,b)								
Mínimo	7482,658	70461,6940	119722,5	57367,0	130322,95	119722,524	17459,5350	1247,110
Máximo	732676,9	11280730,1	17725792	29382526	41069814,3	32691731,8	8422978,44	2038400,690
Diferencias más extremas								
Absoluta	,600	,607	,616	,589	,607	,620	,622	,587
Positiva	,600	,607	,616	,589	,607	,620	,622	,587
Negativa	-,167	-,167	-,167	-,216	-,315	-,167	-,167	-,167
Z de Kolmogorov-Smirnov	1,469	1,488	1,509	1,444	1,487	1,519	1,525	1,439
Sig. Asintót. (bilateral)	,027	,024	,021	,031	,024	,020	,019	,032

a. La distribución de contraste es la Uniforme.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Tabla 2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.

En todos los casos se rechaza la hipótesis nula para α = 0'05, es decir con un intervalo de confianza del 95%. El drenaje influye por lo tanto en todos los usos del suelo y cultivos, a pesar de las posibilidades técnicas de que se dispone hoy día, quizás debido a la orografía tan marcada de La Vera Alta. En todo caso el uso de la capa de drenaje aparece como una opción coherente para la creación del nuevo documento.

Pendientes: De nuevo se trata de una capa derivada directamente del MDE. Dado que se trata también de una variable continua, se ha reclasificado para poder tabularla con los usos del suelo, siguiendo los criterios de aptitud para el cultivo usados por Parcero (Parcero Oubiña, 2002): 0 – 3%: 1, 3 – 10%: 2, 11 – 20%: 3, 21 – 35%: 4, 35 – 50%: 5, > 50%: 6.

Se relaciona con los cultivos principalmente, ya que las pendientes fuertes suponen un gran impedimento al desarrollo de éstos, cuando no los imposibilitan totalmente. La recurrencia al cultivo de terrenos con pendientes importantes hace necesaria la inversión de trabajo social para la construcción de muros y bancales o el empleo de otras técnicas que supondrán en todo caso un esfuerzo extraordinario. En este caso

3. La aceptación de la hipótesis nula de distribución uniforme supondría una localización independiente de los usos del suelo respecto de la acumulación de flujo.

la búsqueda de terrenos más llanos para ubicar los cultivos resulta evidente a primera vista (ver figura 5), así como la relación entre las pendientes más fuertes y los suelos desnudos, seguramente por la fuerte erosión.

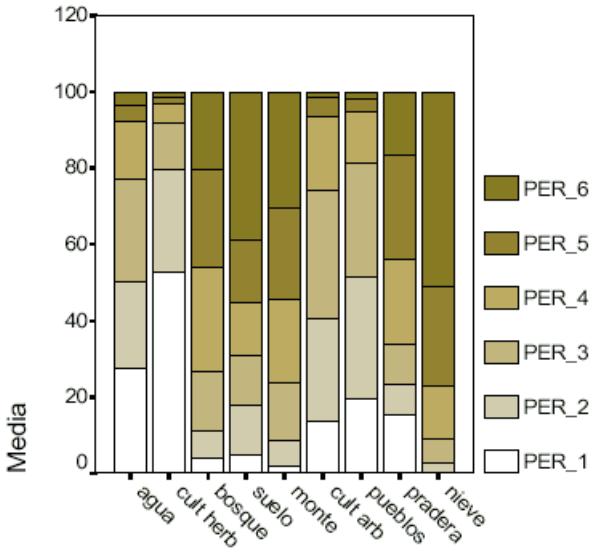


Figura 5. Distribución de las clases de terreno en función de las pendientes.

Clases agrológicas: Documento de tipo cualitativo, en el que se recoge a escala 1:50.000 la clasificación del M.A.P.A. de clases agrológicas que se ha resumido en cuatro grupos genéricos:

1. No laborables
2. Improductivo
3. De laboreo ocasional
4. De laboreo sistemático

La clase más presente en La Vera Alta es sin lugar a dudas la "no laborable", dentro de la que se localizan la mayor parte de los cultivos leñosos, a pesar de su nombre. Las zonas improductivas se limitan a las cumbres más altas de Gredos, suelo urbanizado y cauces de los ríos, mientras que las otras dos categorías designan zonas más fértiles, especialmente la cuarta, de laboreo sistemático, que engloba las tierras aluviales de la margen del río Tiétar.

Edafología: Esta variable no se ha tenido en cuenta, a pesar de la importancia que tiene de cara a los objetivos que nos hemos planteado, por varias razones. La falta de cartografía a la escala adecuada es un gran problema, pero la gran uniformidad que en este aspecto muestra la zona de estudio que por otro lado no es demasiado extensa, puede excusar el uso de tan importante variable. La práctica totalidad de La Vera Alta está constituida por un batolitogranítico que suele originar suelos arenosos de textura ligera en los que los factores que más influyen son las pendientes, por la erosión a que dan lugar (Higuero Malpartida, 1988: 18). Se trata de tierras pardas con una textura ligeramente arcillosa. La única zona que presenta una clara distinción es la de la fosa del Tiétar, caracterizada por los suelos aluviales más fértiles, pero al tratarse de una zona tan concreta su distinción resulta innecesaria, ya que coincide exactamente con la zona que en el documento de clases agrológicas se recoge bajo el epígrafe de "laboreo sistemático".

Elaboración del mapa temático: La combinación mediante reglas de la información territorial recogida en las capas previamente enumeradas se realiza según directrices establecidas *a priori* o creadas *ad hoc* según la lógica interna que muestra la zona o su desarrollo histórico. No debemos olvidar que el documento que obtendremos no refleja ya una realidad del paisaje, sino una potencialidad del terreno, es decir, las zonas clasificadas como "regadíos", por ejemplo, no tienen por qué responder a tal uso actualmente, sino que son potencialmente utilizables de tal modo.

Las clases que van a suponer la base del análisis serán por lo tanto: improductivo, suelo desnudo (localizado en zonas no laborables), cultivos difíciles, aprovechamiento forestal, agrícola extensivo, agrícola intensivo, regadío y pastos, además de otras que, dadas las especiales características y condiciones de la imagen satélite (y sobre todo el hecho de no contar más que con una imagen de una sola fecha), no han podido ser incluidas en las anteriores, pero que suponen de todas formas un escaso porcentaje de la zona de estudio (2%): nieve y agua. La figura 6 ilustra la toma de decisiones que conduce al establecimiento de cada clase.

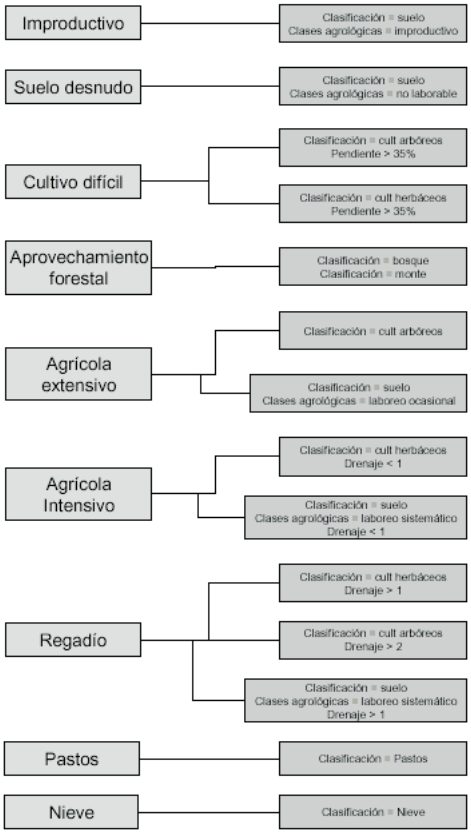


Figura 6. Reglas empleadas para el establecimiento de las clases definitivas.

Las reglas que parten de principios teóricos son básicamente la dificultad extraordinaria de poner en cultivo zonas con pendientes superiores al 35% y la imposibilidad de establecer regadíos en zonas con un valor de acumulación de flujo cercano a 0, lo que las hace más donantes que receptoras, por lo que se anula la posibilidad de encontrar regadíos en esas zonas, dibujándose la frontera para esta posibilidad en 1 en el caso de terrenos con cultivos herbáceos y en 2 para terrenos con cultivos arbóreos, por la menor calidad de los suelos que requiere el cultivo de olivares, viñedos, etc. (los viñedos están comprendidos dentro de la clase de cultivos arbóreos), distinción que sí se ha hecho a la vista de la distribución de los terrenos en función del drenaje.

Para establecer las zonas de aprovechamiento forestal se han unido las clases de bosques y monte bajo ya que, aunque el bosque permite un aprovechamiento diferente al del monte bajo, sabemos que es a partir de la Edad Media cuando se acentúa el proceso de degradación del bosque, dando lugar a las actuales formaciones de escobonales, jarales en zonas más erosionadas o incluso cantuesales y tomillares en las zonas más degradadas. Estas consideraciones son la base de la generalización que supone la creación de la categoría "aprovechamiento forestal", que es por otro lado la que mayor extensión territorial muestra en toda la zona de estudio, lo que también resulta coherente con las informaciones de que disponemos de otras épocas. No podemos olvidar de todas formas que las zonas de aprovechamiento forestal también son y han sido tradicionalmente utilizadas para el ramoneo del ganado e incluso para la realización de cultivos de rozas en algunos casos, actividad documentada durante la Edad Media (Santos Canalejo, 1986: 357).

La diferenciación entre los tres tipos de suelos agrícolas viene dada en gran medida por los usos que presentan en la actualidad, teniendo en cuenta que para los cultivos herbáceos como el tabaco, tan característico de la zona, son preferibles tierras profundas, fértiles y bien saneadas con una buena orientación y buena capacidad para recoger y conservar el calor del sol, por lo que los terrenos con estos usos se han considerado aptos para una agricultura intensiva mientras que aquellos dedicados a viñedos, olivares y otros tipos de cultivos arbóreos, que además suelen formar parte de las clases agrológicas de "laboreo ocasional" o incluso "no laborables", se han incluido en los aprovechamientos de tipo extensivo.

Respecto a las zonas de suelo desnudo, su clasificación resultaba difícil, ya que al ser la imagen Landsat de enero, incluían muchas fincas en las que crecerían diferentes tipos de cultivos más adelante. Por lo tanto se clasificaron según el mapa de clases agrológicas, incluyendo las zonas de laboreo ocasional como agrícola extensivo, las de laboreo sistemático como intensivo y las improductivas como tales. Las que se correspondían con la clase agrológica de "no laborable" se han dejado aparte como suelo desnudo sin más, y se corresponden básicamente con las zonas de alta montaña en las que desaparece la vegetación y con zonas más bajas de fuertes pendientes y por lo tanto, muy erosionadas. Aunque estas últimas se podrían corresponder en el pasado con zonas de monte bajo o boscosas hoy día más erosionadas, no se han identificado como tales porque ante la falta de datos parecía una decisión muy arbitraria.

En la figura 7 se muestran los porcentajes de ocupación de cada clase en el documento final, y en la lámina 2 el documento temático final, superpuesto sobre el MDE, de forma que se puede apreciar la influencia de los pisos altitudinales en la distribución de los tipos de terreno.

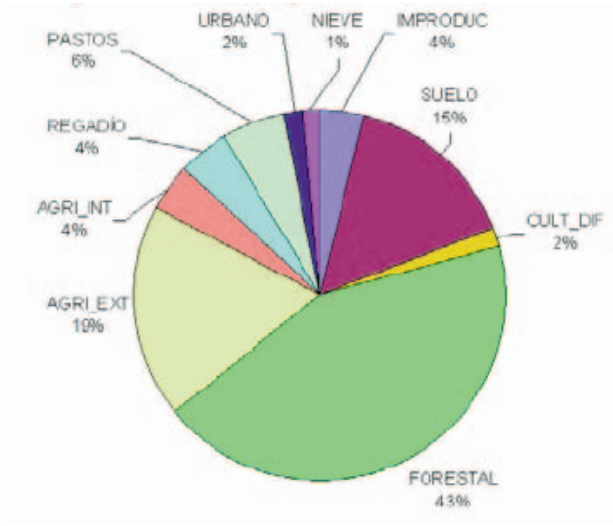


Figura 7: Porcentajes de ocupación de cada clase en mapa final de potencialidad agraria.

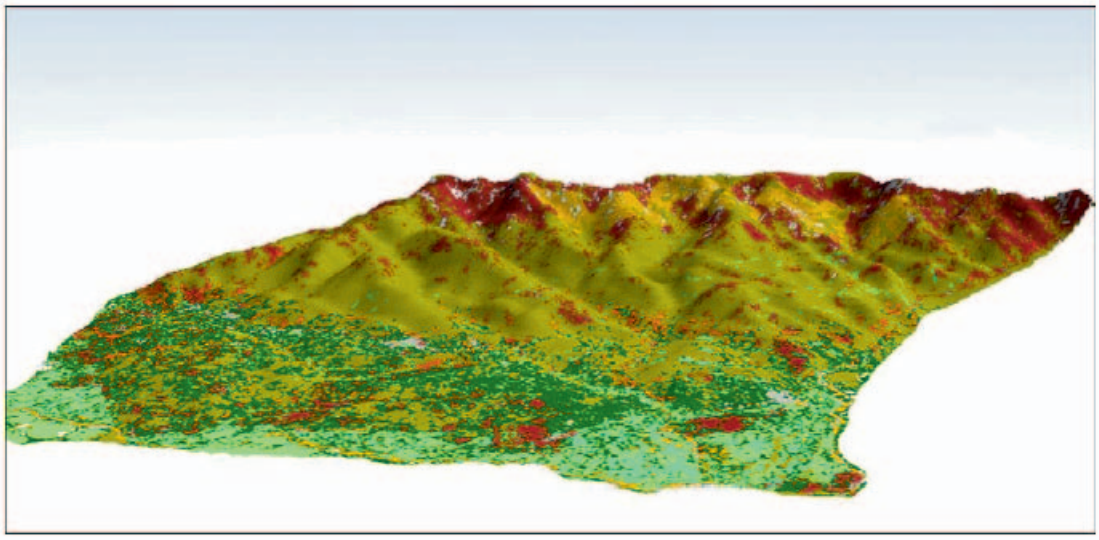


Lámina 2. Mapa temático de potencialidad agraria superpuesto sobre el MDE.

VII. CONCLUSIONES

El trabajo presentado pretende ser una opción metodológica para la elaboración de variables relacionadas con el paisaje actual, pero que permitan evaluar decisiones locacionales tomadas en el pasado, de las que sólo nos quedan como testigo algunos restos arqueológicos. En ningún momento se ha pretendido elevar el mapa temático obtenido a la categoría de interpretación histórica del paisaje prehistórico.

A través de los Sistemas de Información Geográfica y documentos de teledetección podemos avanzar mucho más en la "crítica histórica del paisaje actual", incorporando nuevos elementos a los aquí mencionados. Por un lado más variables geográficas nos pueden ayudar a comprender mejor el entorno: datos climáticos de pluviometría, insolación o temperatura, además de la posibilidad de incorporar elementos más complejos en el caso de proyectos en los que sea posible, como puedan ser modelos de erosión, por ejemplo, el U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation).

Por otro lado, un estudio histórico más completo del paisaje puede ayudarnos en la labor de "decapar" las modificaciones más modernas, mediante el empleo de información tanto histórica, a través del estudio de catastros antiguos como pueda ser el del Marqués de la Ensenada, como paleoambiental, a través de datos obtenidos en contextos arqueológicos *(cf.* Vicent García *et al.,* 2000).

REFERENCIAS

AMOR MORALES, Á. 1994: *La flora y la vegetación en La Vera.* Junta de Extremadura. Mérida.

CLEMENTE RAMOS, J. 2001: *La evolución del medio natural en Extremadura (c. 1142-c. 1525). El medio natural en la España Medieval* (Cáceres 2001). Universidad de Extremadura.

CHUVIECO, E. 2002: *Teledetección ambiental.* Ariel. Barcelona.

DÍAZ ÁLVAREZ, J.R. 1982: *Geografía y agricultura. Componentes de los espacios agrarios.* Cincel. Madrid.

HIGUERO MALPARTIDA, G. 1988: *Estudio socio - económico de la Vera Alta de Cáceres.* Institución cultural "El Brocense". Excma. Diputación Provincial de Cáceres. Cáceres.

OREJAS, A. 1998: "El estudio del Paisaje: visiones desde la Arqueología." *Arqueología Espacial* 19-20: 9-19.

PARCERO OUBIÑA, C. 2002: *La construcción del paisaje social en la Edad del Hierro del Noroeste ibérico.* Instituto de Estudios Galegos Padre Sarmiento. Ortigueira.

SANTOS CANALEJO, E.C.D. 1986: *La Historia Medieval de Plasencia y su entorno geo-histórico: la Sierra de Béjar y la Sierra de Gredos.* Institución Cultural "El Brocense". Cáceres.

VICENT GARCÍA, J.M. 1991: "Fundamentos teóricos - metodológicos para un programa de investigación arqueo-geográfica". En P. López García (Ed.): *El cambio cultural del IV al II milenios a. C. en la comarca noroeste de Murcia.* CSIC. Madrid.

VICENT GARCÍA, J. M. 1998: "Entornos." *Arqueología Espacial* 19-20: 165-168.

VICENT GARCÍA, J.M.; RODRÍGUEZ ALCALDE, Á.; LÓPEZ SÁEZ, J.A., MORENCOS, I.D.Z.; LÓPEZ GARCÍA, P. y MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. 2000: "¿Catástrofes ecológicas en la estepa? Arqueología del paisaje en el complejo minero-metalúrgico de Kargaly (región de Orenburg, Rusia)." *Trabajos de Prehistoria* 57 (1): 29-74.

VITA FINZI, C. y HIGGS, E.S. 1970: "Prehistoric economy in the Mount Carmel area of Palestine: site catchment analysis." *Proceedings of the prehistoric society* 36: 1-37.

ELABORACIÓN DE MAPAS DE USOS POTENCIALES DEL SUELO A PARTIR DE DATOS DE TELEDETECCIÓN PARA ESTUDIOS DE ARQUEOLOGÍA DEL PAISAJE: LAS SOCIEDADES PROTOHISTÓRICAS EN EL VALLE DEL GUADIANA MENOR (ANDALUCÍA ORIENTAL)

PRODUCTION OF POTENTIAL LAND USE MAPS USING REMOTE SENSING DATA FOR LANDSCAPE ARCHAEOLOGY RESEARCH: PROTOHISTORIC SOCIETIES IN THE GUADIANA MENOR RIVER VALLEY (EASTERN ANDALUSIA)

ANTONIO URIARTE GONZÁLEZ[1], JUAN M. VICENT GARCÍA[1], TERESA CHAPA BRUNET[2], VICTORINO MAYORAL HERRERA[3], JUAN PEREIRA SIESO[4], ANA CABRERA DÍEZ[2]

(1) Instituto de Historia CCHS - CSIC. C/ Albasanz 26-28. 28037 Madrid.
(2) Departamento de Prehistoria UCM. C/ Profesor Aranguren s/n. 28040 Madrid.
(3) Instituto de Arqueología (Mérida) - CSIC. Plaza de España 15. 06800 Mérida (Badajoz).
(4) Facultad de Humanidades UCLM. Plaza Padilla 4. 45071 Toledo.

RESUMEN

Se presenta la elaboración, a partir de imagen Landsat e información geográfica auxiliar, de un mapa digital que muestre la distribución de los usos del suelo potenciales más adecuados para economías paleotécnicas. Dicho mapa está concebido para su utilización, mediante tecnología SIG, en análisis de arqueología del paisaje dirigidos al estudio de la ubicación de asentamientos pre y protohistóricos, como el análisis de captación económica. El procedimiento de elaboración consta de dos fases: elaboración de un mapa de cubiertas actuales a partir de la imagen de satélite y conversión de dicho mapa en otro de usos potenciales mediante la utilización de la información auxiliar. Dicho trabajo se enmarca en una investigación sobre la evolución de la sociedad protohistórica en el valle del Guadiana Menor (Andalucía oriental).

ABSTRACT

This paper presents the production, using Landsat image and ancillary geographic data, of a digital map that comprises the distribution of potential land uses that are more suitable for paleotechnic economies. This map is conceived to be used, through GIS technology, in landscape archaeology analyses devoted to the study of pre and protohistoric settlement location, like site catchment analysis. Production procedure has two stages: generating a map of current coverages using satellite images and transforming it into a potential land use map by means of ancillary data. This work belongs to the framework of an ongoing research about the evolution of protohistoric societies in the Guadiana Menor valley (eastern Andalusia).

Palabras clave: Teledetección, clasificación de imagen, imagen Landsat, arqueología del paisaje, usos del suelo, economía paleotécnica, protohistoria, Guadiana Menor, Andalucía oriental.

Key words: *Remote sensing, image classification, Landsat image, landscape archaeology, land use, palaeotechnic economy, protohistory, Guadiana Menor, eastern Andalusia.*

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los estudios de arqueología del paisaje existe una serie de trabajos que, inspirados en el método del *análisis de captación económica* (Vita-Finzi y Higgs, 1970), tienen como objetivo analizar la lógica económica del poblamiento a partir del estudio de las características geográficas del entorno de los asentamientos (ver, por ejemplo, Gilman y Thornes, 1985; Grau, 2002; Mayoral, 2004; Molinos *et al.,* 1994; Parcero, 2002; Vicent, 1991). Esta metodología requiere la utilización de cartografía que recoja variables geográficas relevantes para las hipótesis planteadas acerca de las características tecnoeconómicas y socioeconómicas de las comunidades investigadas. En esta línea, se presenta la elaboración de un mapa de usos potenciales del suelo a partir de datos de teledetección e información geográfica auxiliar mediante la aplicación de tecnologías de información geográfica (TIG), como el proceso digital de imagen y los sistemas de información geográfica (SIG). Los usos representados no son los actuales, sino aquellos preferibles dentro de las posibilidades de una economía agraria de tipo paleotécnico (Wolf, 1982: 32-51).

Este trabajo se enmarca dentro de la investigación sobre la evolución de las sociedades pre y protohistóricas en el valle del Guadiana Menor (Jaén) desde una estrategia de arqueología del paisaje (Chapa *et al.,* 1998; Mayoral, 2004; Uriarte, 2005). El Guadiana Menor discurre por un corredor que enlaza el Alto Guadalquivir, del que es tributario, con las Hoyas de Guadix-Baza. En su recorrido atraviesa un área paisajísticamente diversa, debido en gran medida a los fuertes contrastes topográficos (Fig. 1). Se pueden distinguir, a grandes líneas, las siguientes unidades geográficas: 1) los valles fluviales; 2) las zonas de barrancos, fuertemente erosionadas y agrológicamente pobres; 3) las campiñas, con pendientes suaves y dedicadas principalmente al cultivo de secano; 4) el piedemonte; y 5) las sierras (Cazorla, Mágina), con altitudes que llegan a superar los 2.000 metros.

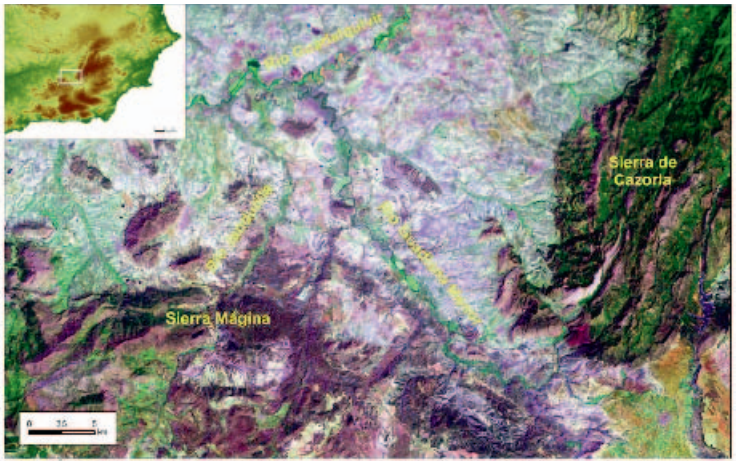


Figura 1. Área de trabajo, sobre la imagen Landsat 7 ETM+ (composición RGB 741).

El uso de información geográfica en la caracterización del entorno de los asentamientos plantea el problema del actualismo, esto es, la extrapolación de información del presente al pasado. En nuestra opinión, y en la línea de los autores antes citados, la generación y utilización de este tipo de información sólo son válidas desde una estrategia de arqueología del paisaje no reconstructiva y, a la vez, centrada en una escala global. En primer lugar, no reconstructiva, ya que no se pretende recrear de forma efectiva los rasgos de los paisajes pretéritos, sino establecer modelos que permitan contrastar hipótesis acerca de las sociedades del pasado; el mapa de usos potenciales del suelo no tiene valor en sí mismo, sino únicamente como documento útil para el contraste de dichas hipótesis. En segundo lugar, a escala global, tanto a nivel espacial (estudios regionales) como temporal (largo plazo); el mapa recoge la variabilidad de los usos potenciales del suelo a nivel general y es útil sólo para estudios de tipo comparativo, que busquen las diferencias estructurales básicas en la lógica locacional de los asentamientos.

Los usos potenciales se sintetizan en tres tipos básicos propios de una economía paleotécnica en un paisaje de tipo mediterráneo: monte, agricultura de secano y agricultura de regadío (Gilman y Thornes, 1985: 38-40). El proceso de elaboración consta de las siguientes fases: 1) obtención y preparación de la información; 2) elaboración de un mapa de usos actuales mediante clasificación de imagen de satélite; 3) elaboración del mapa de usos potenciales del suelo a partir del mapa de usos actuales y de variables geográficas auxiliares.

Los procedimientos de tratamiento y clasificación de imagen digital aplicados están recogidos en los manuales de Chuvieco (2002) y Ormeño (2006). En cuanto al *software* empleado, se ha usado ERDAS IMAGINE (versión 9.1) para el análisis y clasificación de imagen y ArcGIS (versión 9.2) para la visualización y gestión de las diferentes capas de información geográfica.

II. FUENTES DE INFORMACIÓN

Se ha seleccionado un área rectangular que comprende el curso medio y bajo del Guadiana Menor, a su paso por la provincia de Jaén, y su entorno (Alto Guadalquivir, Sierra de Cazorla, Sierra Mágina y valle del Jandulilla). Los límites del área son 455.000 y 511.000 en la X y 4.170.000 y 4.205.000 en la Y (sistema de coordenadas UTM huso 30 Norte, Datum Europeo 1950).

II.1. Imagen de satélite

Se ha utilizado una imagen multiespectral, concretamente Landat 7 ETM+. Ésta ha sido descargada del servidor de imágenes Image 2000 (http://image2000.jrc.it/). La fecha de adquisición es el 15 de enero de 2000. La imagen había sido corregida geométricamente a partir de los parámetros orbitales y georreferenciada según el sistema de coordenadas antes citado. Para este estudio se han utilizado las seis bandas pertenecientes al espectro reflejado u óptico, descartándose la banda del infrarrojo térmico. La resolución espacial original de estas bandas es de 30 metros; no obstante, la imagen había sido remuestreada, mediante el procedimiento del vecino más próximo, a una resolución espacial de 25 metros.

II.2. Información auxiliar

La información geográfica auxiliar ha sido convertida a formato ráster, con una resolución espacial de 25 metros:

1. Modelo digital de elevaciones (MDE): Registra las altitudes sobre el nivel del mar. Ha sido elaborado a partir de las isohipsas del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 digital del IGN, con equidistancia de 10 metros.
2. Pendientes: A partir del MDE se ha generado una capa de pendientes, expresadas en porcentaje.
3. Hidrografía: Recoge los cursos fluviales principales, en concreto aquellos denominados como “ríos”. La información ha sido extraída del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000.
4. Embalses: Incluye los embalses de La Bolera, Puente de la Cerrada, Doña Aldonza y Pedro Marín. La información ha sido extraída del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000.
5. Núcleos urbanos: Recoge las poblaciones del área de estudio. La información ha sido extraída del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000.

III. ELABORACIÓN DE LA CAPA DE USOS ACTUALES DEL SUELO MEDIANTE CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN DE SATÉLITE

III.1. Preparación de la imagen

Las seis bandas seleccionadas de la imagen Landsat han sido objeto de una serie de operaciones dirigidas a obtener una información de mejor calidad de cara a la clasificación:

1. Primeramente, se han transformado los valores digitales originales a valores de reflectividad, por considerarse que esta variable expresa de forma más directa y más fácilmente interpretable el comportamiento espectral de las cubiertas. Mediante los coeficientes de sesgo y ganancia de cada banda, recogidos en los metadatos de la imagen, se convierten los valores digitales originales a valores de radiancia. A su vez, los valores de radiancia son transformados a valores de reflectividad a partir de los ángulos solares de elevación y acimutal (58,2 y 131,5 grados sexagesimales, respectivamente), también presentes en los metadatos de la imagen, y la distancia Tierra-Sol, cuyo valor es de 0,9836 unidades astronómicas para el 15 de enero (Ormeño, 2006: 225).

2. En segundo lugar, se ha aplicado la corrección topográfica a los valores de reflectividad, a fin de retirar el efecto que el sombreado del terreno introduce en dicha variable, lo cual afecta de forma negativa a la clasificación, particularmente en zonas de relieve pronunciado, como es el caso. Los datos necesarios para la corrección son el MDE y los ángulos solares de elevación y acimutal.

III.2. Clasificación supervisada de la imagen

La clasificación de tipo supervisado requiere el conocimiento previo de los usos del suelo existentes en el área de estudio. Dicho conocimiento proviene de documentación cartográfica (Mapa de Cultivos y Aprovechamientos 1:50.000) y bibliográfica (ver una síntesis en Mayoral, 2004: 57-70 y 269-294), así como de la propia experiencia adquirida por el analista sobre el terreno. A continuación se ofrece una descripción básica de estos usos del suelo:

1. Pinar: Está muy extendido y se encuentra fundamentalmente en las sierras (Cazorla, Mágina). Su amplia distribución se debe en gran medida a la repoblación forestal, ocupando en muchas ocasiones el espacio cubierto originalmente por el encinar.

2. Monte bajo: También tiene una importante presencia, ocupando extensas zonas de piedemonte y los espacios más abruptos o con suelos más pobres de las campiñas. Las especies predominantes son plantas xerófilas, como el esparto, y, en algunos casos, matorral degradado de pino o encina. En algunas zonas, las condiciones de aridez y erosión han propiciado un paisaje de *badlands,* en el que la cubierta vegetal es muy escasa o inexistente.

3. Cultivo de cereal en secano (labor): Está presente en los terrenos de campiña del Guadalquivir y de los cursos bajos del Guadiana Menor y el Jandulilla, sobre todo, así como en algunos puntos de las altiplanicies y las cuestas del piedemonte. Se practica la rotación de cultivos.

4. Olivar: Siendo ya de por sí uno de los principales cultivos tradicionales, ha experimentado una importante expansión en los últimos años con la introducción del riego por goteo. Dicha expansión se ha producido a costa del cereal de secano y, en menor medida, del monte bajo. Ocupa el mismo tipo de terreno que el cereal de secano, con mayor presencia en el piedemonte, y una parte importante de los espacios de regadío.

5. Regadío: Los regadíos tradicionales se encuentran vinculados a las vegas de los ríos y a determinados puntos del piedemonte. Estos últimos tienen su origen en época islámica y su existencia es técnicamente posible gracias a la construcción de un sistema de bancales y canales de irrigación (Barceló, 1990). Por otra parte, hay que mencionar también los regadíos modernos de las altiplanicies situadas al sur de la Sierra de Cazorla, puestos en práctica con el agua traída desde el Embalse de la Bolera.
6. Embalses: Existen cuatro embalses en el área seleccionada, tres en el Guadalquivir (Puente de la Cerrada, Doña Aldonza, Pedro Marín) y el de la Bolera, en el río Guadalentín, en la sierra de Cazorla.
7. Balsas de riego: La expansión del olivar ha llevado aparejada la proliferación en la campiña de balsas destinadas a almacenar el agua de lluvia para el riego por goteo. Éstas se construyen en lomas y cerros elevados sobre las tierras de cultivo.
8. Núcleos urbanos: Son por lo general de pequeño tamaño, rondando los mayores las 100 hectáreas.

Una vez definidos los usos del suelo, se han identificado en la imagen las diferentes cubiertas correspondientes a éstos, las cuales son el objeto de la clasificación supervisada. Para relacionar las cubiertas presentes en la imagen con los usos que representan es imprescindible tener en cuenta el contexto temporal, tanto en lo relativo a la dinámica estacional como a la interanual. El disponer de una única imagen para el estudio de un paisaje mediterráneo presenta limitaciones en ambas. En cuanto a la dinámica estacional, la imagen muestra un paisaje invernal (15 de enero), lo cual afecta al reconocimiento de los cultivos, debido a que en esta época del año parte de ellos, particularmente el cereal, se encuentran en estado de inactividad vegetativa. Respecto a la dinámica interanual, la práctica del barbecho en los campos de cereal de secano hace que éstos presenten cubiertas diferentes en un mismo año.

El reconocimiento de las cubiertas se ha efectuado sobre diferentes combinaciones de bandas, siendo particularmente elocuentes aquellas que reúnen una banda del espectro visible, otra del infrarrojo cercano una tercera del infrarrojo medio, como, por ejemplo, la composición RGB 741 o la 543. Se han distinguido las siguientes cubiertas: cuatro de monte (dos tipos de pinar, matorral y pastizal ralo), cinco de secano (olivar, rastrojo y tres variantes de barbecho, según la tonalidad del suelo), cinco de regadío y vega (cuatro tipos de regadío, entre ellos olivar, y vegetación de ribera), tres de agua (embalse, balsa de riego y río) y una de terreno quemado. El uso urbano ha sido excluido de la clasificación supervisada debido a su elevada heterogeneidad en la respuesta espectral, ya que dentro de un núcleo se pueden encontrar cubiertas de diversa índole. Su consideración en la clasificación se ha realizado con posterioridad, durante la fase de clasificación experta, utilizando para ello la capa de núcleos urbanos arriba citada.

A continuación se detallan las características y distribución de cada cubierta. Entre paréntesis se indica el número de identificación de cada clase (Fig. 2):

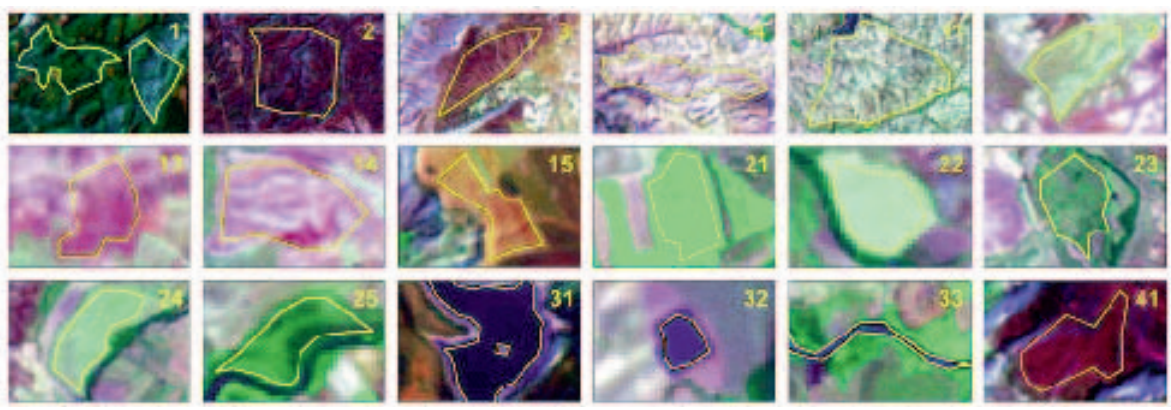


Figura 2. Ejemplos de áreas de entrenamiento de las diferentes clases de cubiertas, sobre la imagen Landsat 7 ETM+ (composición RGB 741), con los valores de las bandas convertidos a reflectividades y corregidos topográficamente.

1. Pinar (tipo 1) (1): Representa un bosque de pinos desarrollado y denso. Aparece en las zonas altas y medias de la Sierra de Cazorla, sobre todo, y de Sierra Mágina.

2. Pinar (tipo 2) (2): Es un bosque de pinos menos denso, por lo que el suelo interviene en mayor medida en la respuesta espectral. Su distribución es semejante a la del primer tipo de pinar, con una mayor presencia en zonas más bajas.

3. Matorral (3): Combina, en mayor o menor grado, arbustos, plantas herbáceas y suelo desnudo. Aparece fundamentalmente en zonas de sierra y piedemonte.

4. Pastizal ralo (4): Son espacios de vegetación escasa o prácticamente inexistente, en los que el suelo es muy visible. Ocupa algunas zonas de sierra y, sobre todo, las laderas y barrancos de piedemonte.

5. Olivar (11): La disposición espaciada de los olivos genera una respuesta espectral mixta a partir de las copas de los árboles y el suelo. Ocupa extensas zonas de la campiña y del piedemonte.

6. Rastrojo (12): Aparece en los campos de labor que han sido cosechados el verano pasado. Junto con los campos en barbecho y el olivar, conforma el paisaje de secano de la campiña.

7. Barbecho (tipo 1) (13): Representa el mismo uso del suelo que el rastrojo (labor), sólo que en un momento de explotación distinto. Las parcelas son contiguas o próximas a las de rastrojo, ya que forman parte del mismo sistema agrícola. En el barbecho, el papel del suelo desnudo en la respuesta espectral es dominante, sobre todo en los suelos recién arados.

8. Barbecho (tipo 2) (14): Es una variante más clara del primero. Ambos aparecen en la campiña del Guadalquivir y del curso bajo del Guadiana Menor y del Jandulilla.

9. Barbecho (tipo 3) (15): Se limita a las altiplanicies del piedemonte meridional de la Sierra de Cazorla. Se diferencia espectralmente de los otros dos en la tonalidad rojiza del suelo.

10. Regadío (tipo 1) (21): Muestra un cultivo en pleno desarrollo en el momento de la toma de la imagen, como se advierte por la alta reflectividad en el infrarrojo cercano. Se localiza en determinadas parcelas de las vegas del Guadalquivir y el Guadiana Menor y en algunos puntos de los regadíos de las altiplanicies.

11. Regadío (tipo 2) (22): Se restringe a una parcela situada en la vega del Guadiana Menor. Se caracteriza por la alta reflectividad general.

12. Regadío (tipo 3) (23): Son parcelas de olivar situadas en zona de vega y de los regadíos tradicionales del piedemonte. Tienen una reflectividad general menos intensa que las del olivar de la campiña, debido al mayor contenido de humedad del suelo.

13. Regadío (tipo 4) (24): Son parcelas semejantes espectralmente a las de rastrojo, con la diferencia de que se sitúan en zonas de vega y presentan una reflectividad general menos intensa debido a la mayor humedad del suelo.

14. Vegetación de ribera (25): Se sitúa en los espacios no cultivados de las vegas de los ríos.

15. Embalse (31): De los cuatro embalses del área seleccionada, los cuatro situados en el curso del Guadalquivir muestran niveles muy bajos de agua, dando lugar a manchas de vegetación de ribera. El de La Bolera, por el contrario, presenta un nivel muy alto, lo que lo hace idóneo para ejemplificar esta cubierta, caracterizada por el agua profunda y, en consecuencia, por una reflectividad general muy baja, aunque no tanto en las bandas del azul y el verde.

16. Balsas de riego (32): Se distribuyen por las áreas de campiña y son fácilmente reconocibles por su forma cuadrangular, su tamaño (entre las 0,25 y las 5 hectáreas) y su baja reflectividad general, aunque algo mayor que la de los embalses, debido a la menor profundidad del agua.

17. Río (33): Recoge aquellos tramos del Guadalquivir y del Guadiana Menor en los que éstos son los suficientemente anchos y profundos como para dar una respuesta espectral diferenciada en la imagen. La escasa profundidad del agua y el solapamiento con la vegetación de ribera generan una respuesta espectral a caballo entre estas dos cubiertas.

18. Quemado (41): Se ha identificado en la imagen una mancha de pinar quemado producto de un incendio de cuya existencia ya se tenía noticia.

Sobre la imagen se han creado áreas de entrenamiento de cada clase, a fin de crear las estadísticas de referencia para la clasificación supervisada. Las estadísticas de entrenamiento han sido analizadas para valorar su idoneidad de cara a la clasificación (Fig. 3):

1. Por un lado, se ha comprobado, clase por clase, la homogeneidad y baja variabilidad interna a través del examen visual de los histogramas espectrales, con resultados positivos.

2. Por otro lado, se ha valorado la separabilidad entre pares de clases, tanto mediante procedimientos gráficos (diagrama de medias, histogramas) como numéricos (matriz de separabilidad, con valores de divergencia transformada). Se ha observado una baja separabilidad entre algunos pares de clases. No obstante, gran parte de ellas no supone un problema para los objetivos de nuestra clasificación, ya que se dan entre cubiertas pertenecientes al mismo tipo genérico de aprovechamiento (agua, monte, secano o regadío).

Las confusiones problemáticas suceden en tres ámbitos: 1) entre pinar y algunas clases de regadío (humedal, regadío 3), debido a la abundancia de vegetación vigorosa; 2) entre las cubiertas de secano con mayor presencia de vegetación (olivar, rastrojo) y algunas de regadío (tipos 2, 3 y 4); y 3) entre las cubiertas más degradadas de monte (pastizal ralo, matorral) y diversas clases de secano, debido a que la respuesta espectral de todas ellas es producto de la combinación, en diferentes grados, de suelo desnudo y vegetación escasa y poco vigorosa.

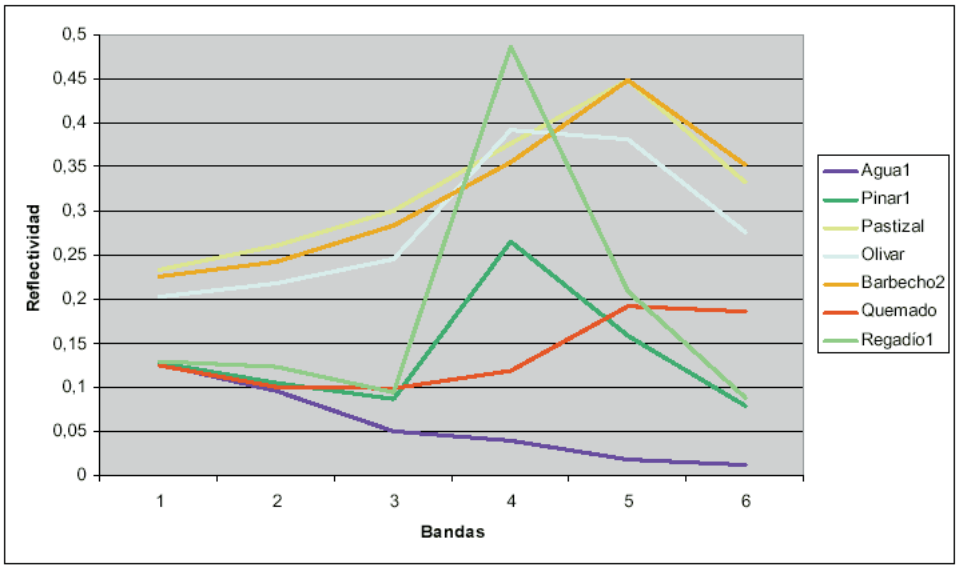


Figura 3. Diagrama de medias espectrales de algunas clases de cubiertas.

A partir de la imagen y las estadísticas de entrenamiento se ha llevado a cabo la clasificación supervisada, utilizándose para ello el algoritmo de máxima verosimilitud.

III.3. Reclasificación de las cubiertas en usos del suelo

A partir de la clasificación de cubiertas se ha definido otra de usos genéricos del suelo. Este proceso no se ha realizado de forma directa, sino a través de una clasificación intermedia formada por lo que hemos denominado *clases híbridas.* Dada la complejidad de las cubiertas y con objeto de reforzar la consistencia de la clasificación, se ha calculado la segunda clase más probable, mediante el procedimiento de la clasificación borrosa. El resultado son las clases híbridas. Una clase híbrida es una clase doble, resultado de la combinación de dos clases de cubierta: la más probable, que tiene prioridad, y la segunda más probable, que refuerza o matiza el significado de la primera.

Las clases híbridas han sido agrupadas en usos genéricos del suelo. La asignación de cada clase híbrida a un uso u otro se ha realizado tanto a partir de su propio significado intrínseco como de su distribución geográfica. Hay dos tipos de usos del suelo: precisos (monte, secano, regadío, agua, quemado) y ambiguos (suelo, suelo húmedo, vegetación, arbolado). Los primeros son resultado de la combinación de dos cubiertas cuyos significados se refuerzan en virtud de su coherencia. Los segundos, por el contrario, albergan dos posibles usos y son resultado de la combinación de dos cubiertas con significado contradictorio (Tabla 1).

Los usos precisos están formados por tres tipos de combinaciones: 1) combinaciones de cubiertas cuyos significados se refuerzan (dos clases de monte, de secano, de regadío o de agua); 2) combinaciones contradictorias pero cuya distribución es coherente de forma mayoritaria con una de ellas; y 3) combinaciones contradictorias pero con escasa presencia. Los usos ambiguos recogen combinaciones que tienen significado contradictorio y cuya distribución, además, muestra dicha dualidad. La aparente contradicción entre cubiertas tiene, en realidad, un significado lógico: 1) el suelo desnudo es común al pastizal ralo y a determinadas cubiertas de secano; 2) el suelo húmedo muestra la combinación de pastizal ralo y terreno húmedo; 3) la vegetación densa y vigorosa es característica compartida por el pinar y el regadío; y 4) el arbolado contempla la confusión entre determinadas zonas de olivar y pinar.

IV. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE USOS POTENCIALES DEL SUELO

La última fase del proceso es una clasificación experta mediante el uso de información geográfica auxiliar. La utilización de la información geográfica auxiliar cumple un doble cometido: 1) refinar el resultado de la clasificación basada meramente en información espectral, eliminando la confusión representada por los usos ambiguos; y 2) introducir criterios geográficos e históricos para transformar el mapa de usos del suelo actuales en otro de usos potenciales del suelo en el pasado. Para ello se ha utilizado información relativa a la topografía, partiendo de la premisa de que el terreno es un condicionante muy fuerte para la explotación del paisaje, limitando o favoreciendo determinados usos (ver Mayoral, 2004: 58-60; Parcero, 2002: 62-63). A partir de ella y utilizando técnicas de análisis SIG, se ha clasificado el área en cuatro estratos estructurales: no cultivable, irrigable (con dos niveles) e intermedio (Fig. 4).

El espacio no cultivable es aquél en que las condiciones topográficas hacen inviable la agricultura a partir de la tecnología utilizada en la prehistoria y la protohistoria peninsulares. Dicho espacio cumple, al menos, una de estas dos condiciones: 1) altitud superior a 1.300 metros, debido a las condiciones climáticas; o 2) pendiente superior al 30%, donde la potencialidad agrícola del terreno es prácticamente nula sin sistemas de aterrazamiento (Moreira, 1991). Consideramos que ambos criterios, aunque razonables, son discutibles y que, por tanto, el modelo es susceptible de modificación. En lo que respecta a la pen-

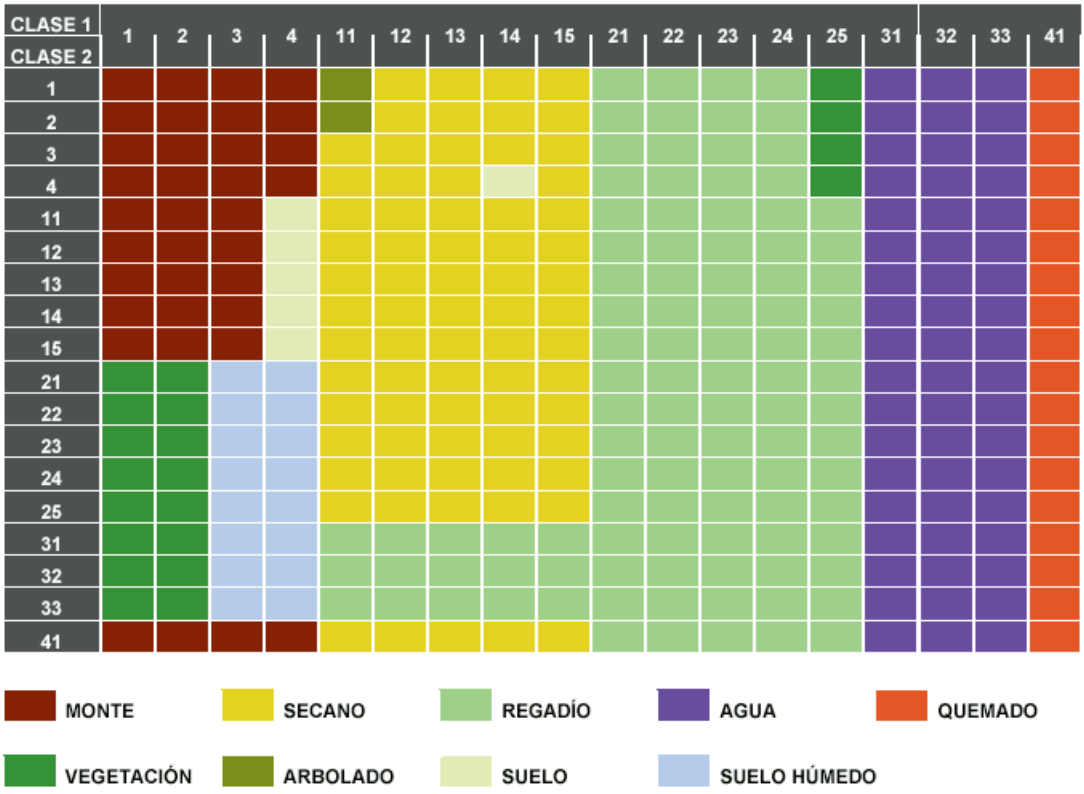


Tabla 1. Asignación de usos del suelo actuales a partir de la primera y segunda clases más probables de cubiertas.

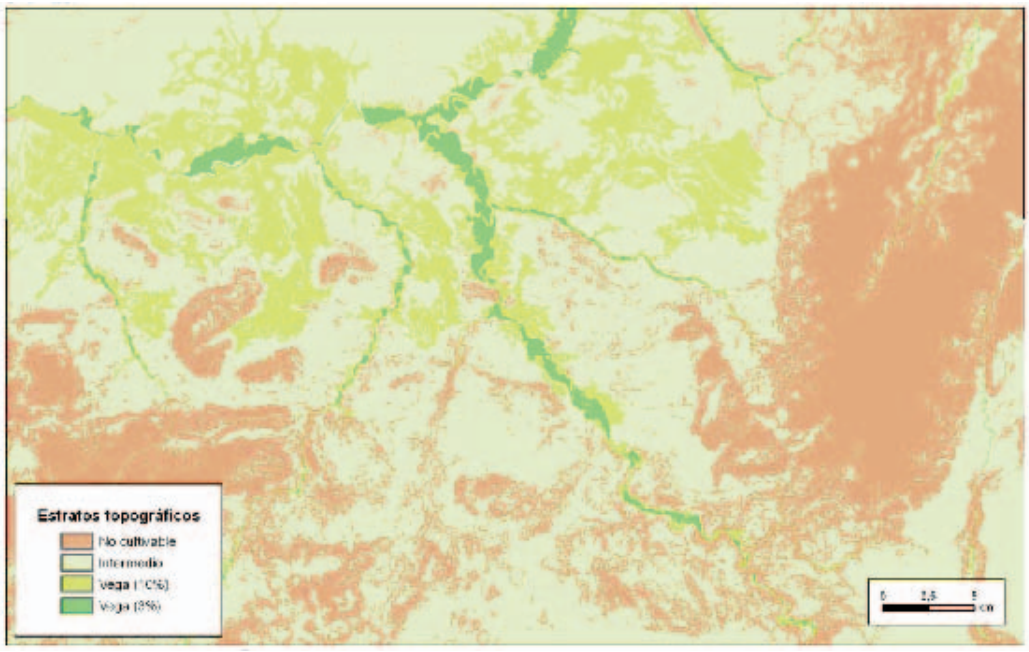


Figura 4. Estratos topográficos.

diente, aunque hay trabajos arqueológicos que documentan la construcción de bancales en diversos contextos de la prehistoria y la antigüedad de la Península Ibérica (De Pedro, 1998: cap. IX; Parcero, 2002: 155-170; Ruiz del Árbol, 2006), consideramos plausible la premisa de que no se generalizan hasta la Edad Media (ver, por ejemplo, Barceló, 1990; Palet y Riera, 2000).

El espacio irrigable es aquel cuya proximidad a cursos de agua estables y su topografía llana hacen posible una agricultura de regadío técnicamente simple, consistente en la inundación mediante acequias excavadas en el suelo. Partiendo de esta idea, se han definido dos estratos de espacio irrigable: uno estricto, de irrigación preferente, con pendientes inferiores o iguales al 3%, y otro extendido, de irrigación opcional, ampliado hasta el límite del 10%. El espacio irrigable se genera en el SIG mediante un modelo de costes:

1. Establecimiento de los ríos como punto de partida.
2. Creación de la capa de costes mediante la reclasificación de la capa de pendientes en dos clases: menor o igual que el umbral de pendiente (3 ó 10%), con valor igual a 0, y mayor que dicho umbral, con valor igual a 1.
3. Establecimiento del límite de coste en un valor superior a 0, para que el crecimiento del área cese al encontrarse un píxel cuyo valor de pendiente supere el umbral establecido.
4. Generación del área de costes partiendo de los ríos. El área incorpora el píxel siguiente si su valor es 0 (perteneciente a la clase de pendiente igual o inferior al umbral establecido). En cuanto encuentra un píxel con valor 1 (de pendiente superior al umbral), detiene su crecimiento.

Una vez creados ambos espacios irrigables, el espacio estricto es sustraído del extendido a fin de evitar solapamientos y para convertirlos, de este modo, en áreas excluyentes.

Por último, el espacio intermedio se define a partir de los píxeles que no han sido asignados a ninguno de los otros estratos.

La capa de usos del suelo y la de estratos topográficos son cruzadas para asignar cada píxel a uno de los tres usos potenciales básicos: monte, secano o regadío. La asignación se basa en una serie de reglas (Tabla 2):

1. Todos los píxeles pertenecientes al estrato no cultivable son asignados a la clase de monte.
2. Todos los píxeles del estrato de irrigación estricto son asignados a la clase de regadío.
3. Dentro del estrato de irrigación extendido son posibles los tres usos potenciales. Como puede verse en la tabla, la asignación se hace en función de la proximidad entre el uso actual y el potencial, teniendo en cuenta además la relativa idoneidad de este estrato para el regadío.
4. Dentro del estrato intermedio sólo son posibles los usos potenciales de monte y secano. Unos usos actuales son directamente asignados a monte. Otros, a secano. Por último, hay algunos cuya asignación depende de un umbral de pendiente del 18%, por encima del cual el uso idóneo es el monte y por debajo del cual es el secano.
5. Dentro del estrato de irrigación extendido y del intermedio, los usos actuales de agua y terreno quemado reciben el uso potencial del vecino más próximo.

Una vez generada la capa de usos potenciales del suelo, quedan dos últimos procesos para ultimarla. Primero, se aplica un filtro de mayoría para homogeneizar. Por último, se superponen las capas de usos actuales de urbano y embalse y los píxeles cubiertos por ellas son clasificados como uso potencial indeterminado (Fig. 5).

	NO CULTIVABLE	INTERMEDIO	VEGA 10%	VEGA 3%
MONTE	MONTE	MONTE	MONTE	REGADÍO
SECANO	MONTE	SECANO	SECANO	REGADÍO
REGADÍO	MONTE	SECANO	REGADÍO	REGADÍO
SUELO	MONTE	MONTE (P > 18%)	SECANO	REGADÍO
		SECANO (P ≤ 18%)		
SUELO HÚMEDO	MONTE	MONTE	REGADÍO	REGADÍO
VEGETACIÓN	MONTE	MONTE (P > 18%)	REGADÍO	REGADÍO
		SECANO (P ≤ 18%)		
ARBOLADO	MONTE	MONTE (P > 18%)	SECANO	REGADÍO
		SECANO (P ≤ 18%)		
AGUA	MONTE	VECINO MÁS PRÓXIMO	VECINO MÁS PRÓXIMO	REGADÍO
QUEMADO	MONTE	VECINO MÁS PRÓXIMO	VECINO MÁS PRÓXIMO	REGADIO

Tabla 2. Asignación de usos potenciales del suelo a partir de los usos actuales y de los estratos topográficos.

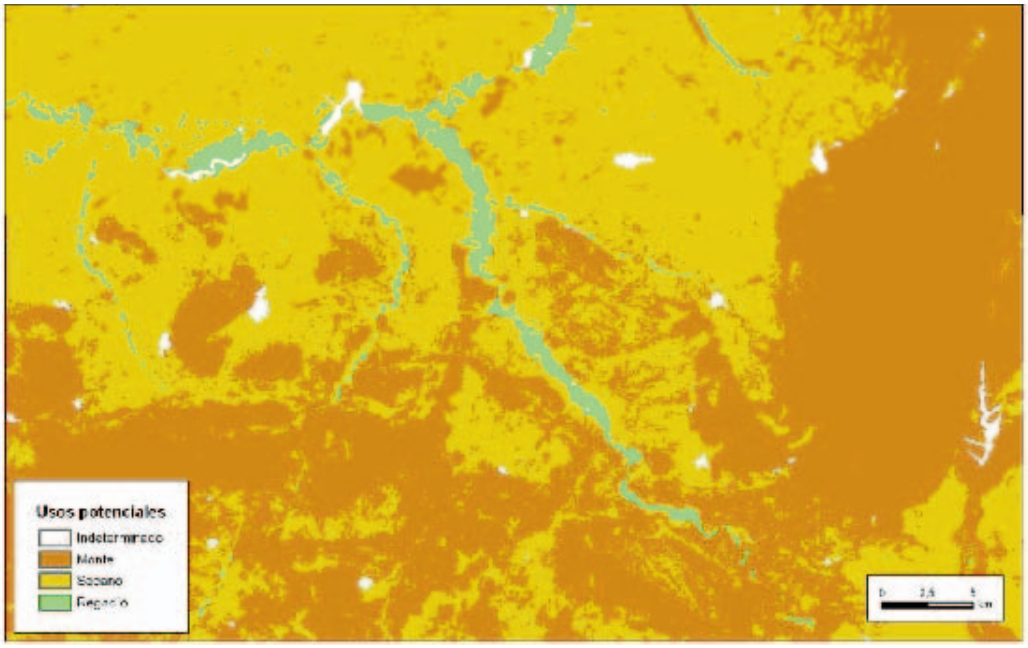


Figura 5. Usos potenciales del suelo, según criterios paleotécnicos.

V. CONCLUSIONES

La capa de usos potenciales del suelo resultante no pretende ser una reconstrucción de los usos efectivos en una determinada época. Por el contrario, no es más que un documento útil para utilizar en el análisis de captación económica y poder rastrear a escala regional las tendencias estructurales básicas del poblamiento pre y protohistórico en la explotación del paisaje.

Asimismo, no es un modelo definitivo, ya que puede ser modificado aplicando criterios diferentes y enriquecido incorporando otras fuentes de información auxiliar, tanto geográficas (climatología, geología, edafología, etc.) como paleoambientales.

Por otra parte, la propia clasificación de cubiertas actuales puede ser mejorada utilizando diversas imágenes, tanto de diferentes momentos del año, para considerar la variabilidad estacional, como de años diferentes, para tratar con los cambios interanuales.

AGRADECIMIENTOS

De cara a la clasificación de imagen de satélite han sido muy útiles los comentarios de Carlos Fernández Freire, del Instituto de Historia del CSIC, Santiago Ormeño Villajos, de la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid, Ignacio de Zavala Morencos, de la E.U.I.T. Agrícola de esta misma universidad, y Lara Vilar del Hoyo, del Instituto de Economía, Geografía y Demografía del CSIC. Asimismo, han sido de gran ayuda las indicaciones de María Ruiz del Árbol Moro, del Instituto de Historia del CSIC, sobre el estudio arqueológico de los sistemas de aterrazamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELÓ I PERELLÓ, M. 1990: "Sistemas de irrigación y asentamientos islámicos en los términos de Huesa; Belerda; Tíscar-Don Pedro y Cuenca (Jaén)". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1988 (II): 59-71.

CHAPA BRUNET, T.; VICENT GARCÍA, J.M.; RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L. y URIARTE GONZÁLEZ, A. 1998: "Métodos y técnicas para un enfoque regional integrado en Arqueología: El proyecto sobre el poblamiento ibérico en el área del Guadiana Menor (Jaén)". *Arqueología Espacial* 19-20: 105-120.

CHUVIECO SALINERO, E. 2002: Teledetección ambiental. Ariel. Madrid. DE PEDRO MICHÓ, Mª J. 1998: *La Lloma de Betxí (Paterna, Valencia). Un poblado de la Edad del Bronce.* Diputación Provincial de Valencia. Valencia.

GILMAN, A. y THORNES, J.B. 1985: *Land-use and prehistory in south-east Spain.* Allen and Unwin. Londres.

GRAU MIRA, I. 2002: *La organización del territorio en el área central de la 'Contestania' ibérica.* Universidad de Alicante. Alicante.

MAYORAL HERRERA, V. 2004: Paisajes agrarios y cambio social en Andalucía oriental entre los períodos ibérico y romano. CSIC. Madrid.

MOLINOS MOLINOS, M.; RÍSQUEZ, C.; SERRANO PEÑA, J.L. y MONTILLA PÉREZ, S. 1994: *Un problema de fronteras en la periferia de Tartessos: Las Calañas de Marmolejo (Jaén).* Universidad de Jaén. Jaén.

MOREIRA MADUEÑO, J.M. 1991: *Capacidad de uso y erosión de suelos: Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía.* Junta de Andalucía. Sevilla.

ORMEÑO VILLAJOS, S. 2006: *Teledetección fundamental.* Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

PALET MARTÍNEZ, J.M. y RIERA MORA, S. 2000: "Evolución y antropización del paisaje en zonas de baja montaña mediterránea: Estudio arqueológico y paleoambiental de los sistemas de terrazas en la sierra litoral catalana". En T. Ñaco, O. Olesti y A. Prieto (eds.): *Anàlisis paleoambientals i estudi del territori.* Cost. Barcelona: 101-117.

PARCERO OUBIÑA, C. 2002: *La construcción del paisaje social en la Edad del Hierro del Noroeste ibérico.* Fundación Ortegalia. Ortigueira.

RUIZ DEL ÁRBOL MORO, M. 2006: “Los paisajes agrarios del NE de Lusitania: Terrazas y explotación agraria romanas en la Sierra de Francia”. *Arqueología Espacial* 26: 115-142.

URIARTE GONZÁLEZ, A. 2005: “Arqueología del Paisaje y Sistemas de Información Geográfica: una aplicación en el estudio de las sociedades protohistóricas de la cuenca del Guadiana Menor (Andalucía oriental)”. En A. Blanco, C. Cancelo y A. Esparza (eds.): *Bronce Final y Edad del Hierro en la Península Ibérica.* Universidad de Salamanca. Salamanca: 603-621.

VICENT GARCÍA, J.M. 1991: “Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueo-geográfica”. En P. López (ed.): *El cambio cultural del IV al II milenios a.C. en la comarca noroeste de Murcia.* CSIC. Madrid: 29-117.

VITA-FINZI, C. y HIGGS, E.S. 1970: “Prehistoric economy in the Mount Carmel area of Palestine. Site catchment analysis”. *Proceedings of the Prehistoric Society* 36: 1-37.

WOLF, E.R. 1982 [1966]: *Los campesinos.* Labor. Barcelona.

PROSPECCIÓN MAGNÉTICA Y RÁDAR DEL SUBSUELO (3D) EN EL POBLADO IBÉRICO DE LA ESCUERA (SAN FULGENCIO, ALICANTE)

MAGNETIC PROSPECTING AND 3D GROUND PENETRATING RADAR IN LA ESCUERA IBERIC SITE (SAN FULGENCIO, ALICANTE, SPAIN)

J.A. PEÑA[1,2], T. TEIXIDÓ[2], E. CARMONA[2], L. ABAD[3], F. SALA[3], J. MORATALLA[3]

(1) Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada. peruano@ugr.es
(2) Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada.
(3) Departamento de Prehistoria, Arqueología, Historia Antigua, Filología Griega i Filología Latina, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante.

RESUMEN

Próximo a la desembocadura del río Segura, en el término municipal de San Fulgencio (Alicante) se localiza el poblado ibérico de la Escuera, el cual viene excavándose desde la década de los 60 hasta la actualidad. Las prospecciones arqueológicas que hasta la fecha se han llevado a cabo se sitúan fundamentalmente en el primer y más bajo de los bancales del yacimiento, tras la muralla, donde el hallazgo de un edificio monumental y parte del tejido urbano puesto al descubierto constituyen un indicativo de la importancia del poblado. Recientemente se está llevando a cabo otra excavación arqueológica para completar las anteriores, pero teniendo en cuenta las dimensiones del área de estudio, se ha realizado una exploración geofísica del terreno a fin de disponer de información *a priori* y facilitar los emplazamientos de los sondeos. Para ello se eligieron dos métodos geofísicos: la prospección magnética y el rádar del subsuelo 3D (3D-GPR). En este estudio presentamos los resultados geofísicos obtenidos y su interpretación conjunta.

ABSTRACT

Near to outlet of the Segura river, in San Fulgencio municipality (Alicante, Spain) is located La Escuera Iberian site, under excavation since the decade of the 60's to present time. The archeological prospections carried out until now are located fundamentally in the first and lowest of the site's terraces, behind the wall. The discovery of a monumental building and part of the main urban structure distribution constitutes an indicative of the importance of this archeological site. Recently, another archaeological excavation was planned to complete the previous ones. But in this case, keeping in mind the dimensions of the study area, a geophysical exploration was carried out in order to have a priori information to facilitate the locations of the soundings. Two geophysical methods were chosen: the magnetic prospection and the 3D ground penetrating radar (3D-GPR). In this study we present the obtained results and its joint interpretation.

Palabras clave: Prospección geofísica superficial, método magnético, radar del subsuelo (georádar) 3D, GPS–RTK sistema de posicionamiento, yacimiento íbero, La Escuera.

Key words: *Shallow geophysics prospection, magnetic method, 3D-GPR Ground Penetrating radar, GPS-RTK position system, Iberian site, La Escuera.*

I. LA ESCUERA: CONTEXTO ARQUEOLÓGICO E HISTÓRICO

Se trata de un poblado perteneciente a la cultura ibérica, situado muy próximo de la desembocadura del río Segura, en la vertiente meridional de la Sierra del Molar en el término municipal de San Fulgencio (Alicante) (Figura 1). Fue excavado y publicado en la década de los 60 por la arqueóloga sueca S. Nordström (1967). Con estos trabajos se descubrió un edificio cuyos elementos constructivos y ajuar lo definieron como un edificio monumental o templo. También excavó un área de construcciones domésticas adosadas a un tramo del lienzo oriental de la muralla, lo que demostró la existencia de torres cuadrangulares huecas en la fortificación. Esta autora se refería asimismo a dos fases urbanísticas bien diferenciadas: una más antigua de fines del s. V y principios del s. IV a.C., y otra más reciente entre mediados del s. IV y finales del s. III, quizá principios del II a.C. Poco después, E. Llobregat (1972: 86-88) interpretaba esta misma información de manera sustancialmente distinta: no creía en la existencia de dos poblados superpuestos, sino en un solo establecimiento de época plena habitado durante los siglos IV y III a.C. que acababa en la primera mitad del s. II a.C. Finalmente, los sondeos realizados por L. Abad entre 1984 y 1985 (Abad *et alii,* 2001: 205 ss.) han confirmado los dos niveles de construcción y la cronología final propuesta por Nordström en torno a fines del s. III o principios del s. II a.C., muy probablemente como consecuencia del paso del ejército romano dirigiéndose hacia la capital bárquida de *Qart Hadasht* para su asedio en el 212 a.C., o de una acción de represalia posterior a la conquista definitiva que ocurrió en el 209 a.C. Algunos datos arqueológicos, como la superposición de muros detectada en los cortes altos y la concentración de cerámica ática en las mismas cotas, parecen indicar que el poblado más antiguo se situó en la parte alta, y que durante el s. III el lugar vive una expansión urbanística que extiende el hábitat hacia las cotas bajas, cerca ya de la marjal, hasta alcanzar las casi 2,5 Ha de extensión.

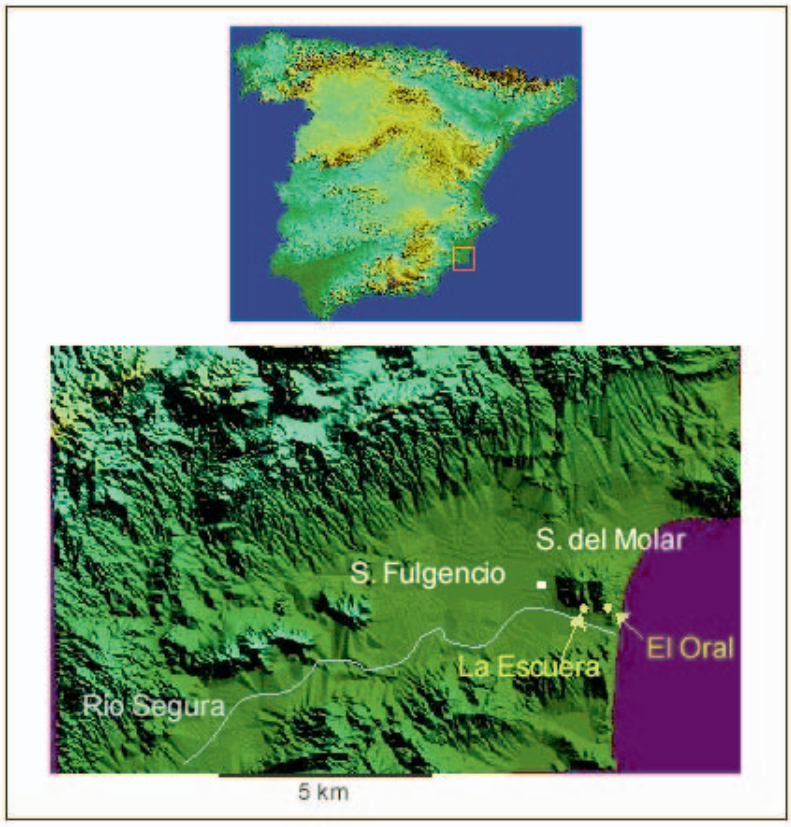


Figura 1. Situación de La Escuera en la comarca del Bajo Segura (Alicante). A su derecha y más próximo al mar, el poblado de El Oral más antiguo desde donde se traslada la población para fundar La Escuera en el último cuarto del s. V a.C.

Las excavaciones de L. Abad ponen al descubierto otros datos de interés sobre el urbanismo del poblado (figura 2): así, un tramo de la calle principal que arranca desde la puerta de la muralla y avanza hacia el punto más alto del poblado, mostrando unas magníficas rodadas de carro excavadas en la roca; se descubre asimismo cómo el mencionado templo se abre a un espacio abierto antepuesto, a modo de plaza, que conecta con la calle principal a escasos metros de la entrada al poblado. Dicha ubicación, por tanto, lo define como un lugar sacro de entrada, frecuente en otras culturas mediterráneas antiguas, con una función de purificar y proteger la puerta de la muralla, el punto más vulnerable de la fortificación (Abad y Sala, 1997). En general, en todos los sondeos aparecen diversas construcciones que, aunque exhumadas de modo parcial, revelan una arquitectura cuidada con zócalos de mampostería y alzados de hiladas de adobe y pavimentos de tierra batida.

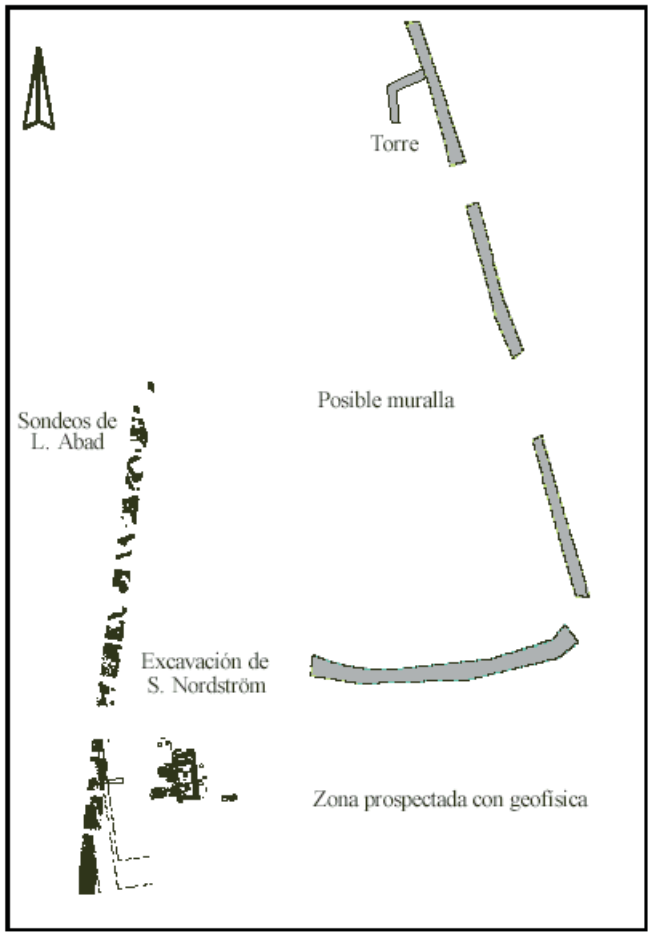


Figura 2. Plano conjunto de las excavaciones de S. Nordström (templo) y L. Abad (calle principal del poblado).

II. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

La exploración geofísica se ha llevado a cabo en el primer y más bajo de los bancales, en un área sin excavar situada al Este de la calle principal descubierta por L. Abad y del templo excavado por S. Nordström (figura 2).

II.1. Prospección magnética

Para la prospección magnética se utilizó un magnetómetro de vapor de potasio, modelo GSMP-40 v6.0 (GEM Systems, Inc.) cuya precisión absoluta es de 0.1 nT, trabajando en modo de pseudo-gradiente

(figura 3). Una vez obtenidos los datos, éstos se procesaron a fin de eliminar los errores de adquisición (paralaje, *spikes,* etc.) y disminuir el "ruido de fondo" (bandeado magnético) Y con ello se elaboró el mapas de anomalías.

Figura 3. Magnetómetro de vapor de potasio con los dos sensores verticales separados 1 m. La zona se exploró mediante perfiles paralelos de ida-vuelta en dirección Norte-Sur y separados 1m entre sí. En este caso se tomaron 10 lecturas por segundo.

El mapa de anomalías magnéticas obtenido muestra la distribución de los materiales soterrados en términos de diferencias de susceptibilidad magnética. Cuando las anomalías son muy fuertes (círculos rojos en la figura 4) usualmente se debe a ferromagnetismo y a magnetismo remanente originado por materiales que han sufrido altas temperaturas (hornos, hogares, etc.). Mientras que las anomalías medias-débiles de gran extensión (sombreado de la figura 4) generalmente marcan fronteras de estructuras arqueológicas.

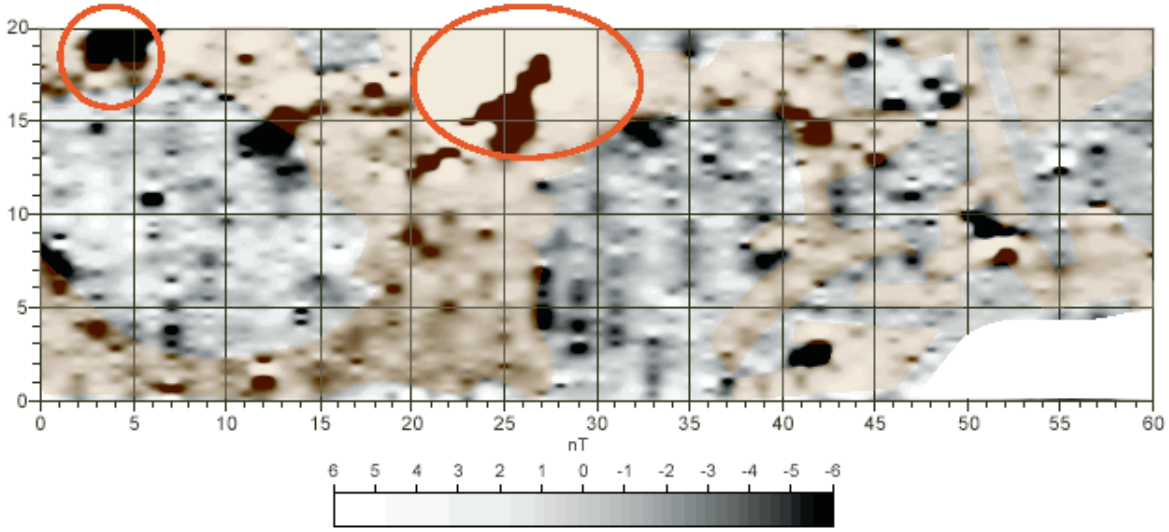


Figura 4. Magnetograma en donde se han señalado con círculos rojos las anomalías fuertes que podrían ser debidas a materiales férricos o que han sufrido altas temperaturas (hornos, acumulaciones cerámicas, etc.). En sombreado se han señalado las anomalías débiles que podrían dar cuenta de fronteras entre estructuras arqueológicas. Las anomalías medias de pequeña extensión (generalmente con magnetismo negativo) pueden referirse al lugares incendiados o con restos cerámicos.

II.2. Rádar del subsuelo 3D

La prospección rádar 3D se aplicó a todo el bancal, se realizaron perfiles paralelos de ida-vuelta separados entre sí una distancia de 0.5 m; la toma de datos en dirección de los perfiles se fijó en 1 muestra cada 2 cm, con un tiempo de escucha de 100 ns (figura 5).

Figura 5. La obtención de datos rádar se realizó con una antena de 400 MHz (GSSI) que tiene acoplada una rueda marcadora para fijar con precisión la distancia de cada muestra. En la parte inferior de la imagen puede verse la consola de recepción y gestión de los datos.

Para el procesado básico de los radargramas se ha utilizado el paquete Radan-6.5 (GSSI), el tratamiento de imágenes 3D se ha gestionado con programas comerciales y otros de desarrollo propio. La adquisición y procesado en modo 3D supone que, además de tratar cada radargrama individualmente (Daniels, 2004), deben seguirse una serie de procedimientos adicionales (Conyers, 2004) que culminan con la creación de un volumen de datos que permite la generación de imágenes muy útiles para la interpretación arqueológica de las reflexiones rádar (figuras 6 y 7).

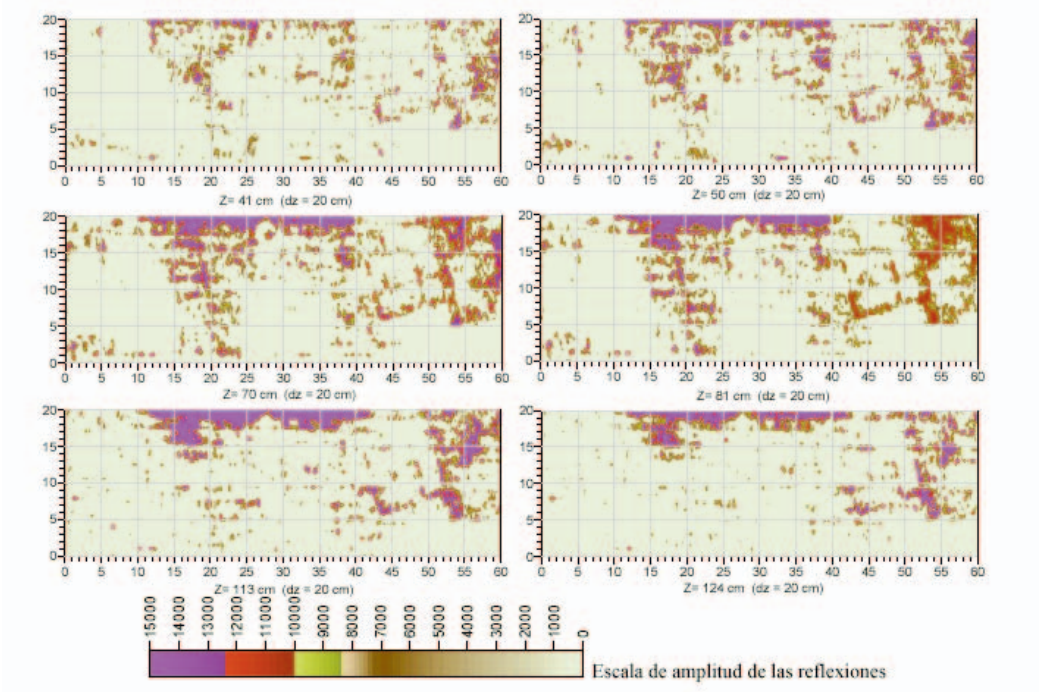


Figura 6. Una forma clásica de análisis es la denominada "rebanada de profundidad". Consiste en obtener una serie de lajas horizontales en el volumen creado, con un determinado espesor y a una determinada profundidad. De modo que la sucesión de estas imágenes muestra la evolución de las reflexiones y constituye una eficaz herramienta de interpretación.

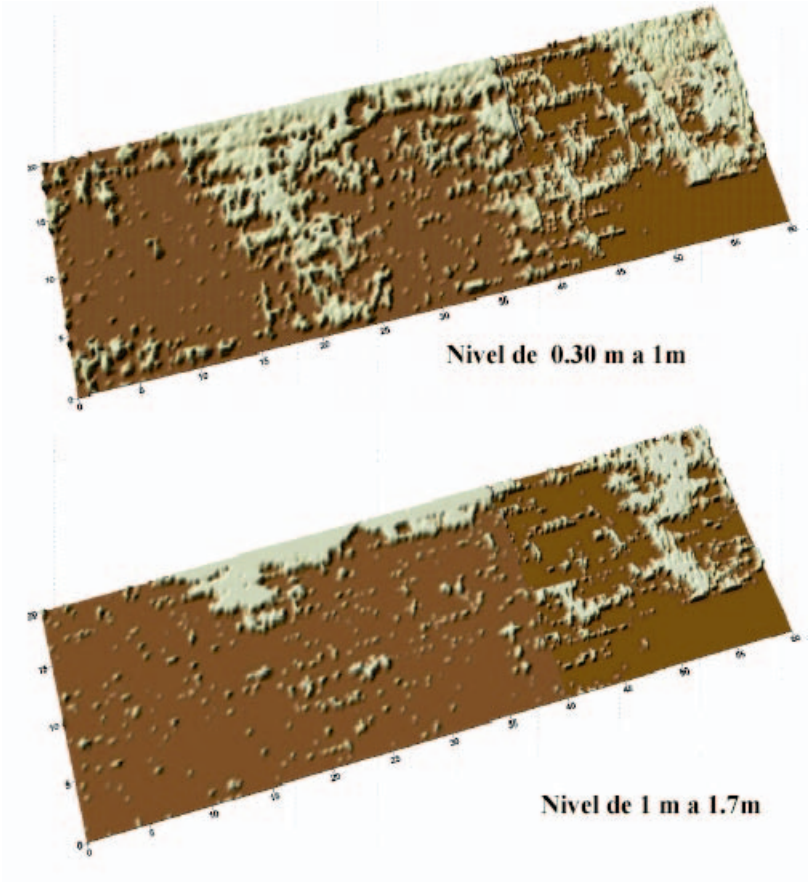


Figura 7. La superficie alabeada representa la anomalía significativa más próxima a la superficie. La imagen que se obtiene es similar a la que cabe esperar en una excavación por niveles naturales; sin perder de vista que lo que se observa en realidad son reflexiones que están controladas por diferencias de la constante dieléctrica del terreno en los contactos entre materiales.

Las rebanadas en profundidad (figura 6) muestran las zonas más reflectoras del terreno. Se han empezado a representar a partir de los 41 cm de profundidad y en la sucesión de imágenes puede comprobarse cómo al ir profundizando se van potenciando ciertas geometrías que podrían interpretarse como zonas con tejido urbano. Así mismo, en las dos superficies alabeadas generadas (figura 7) se representa el conjunto de las reflexiones obtenidas por niveles. En el primero (entre los 0.30 y 1 m de profundidad) se detecta la mayor concentración de estructuras, caracterizadas por geometrías aproximadamente rectangulares que se ven enmascaradas por acumulaciones laterales de materiales (¿derrumbes?). Mientras que en el segundo, más profundo (entre los 1 m y 1.7 m), sólo se aprecian los materiales que forman la base de la cimentación. En todo el borde Norte y en la esquina Este se ha detectado una importante acumulación de reflectores que pudieran corresponder a una gran estructura o a una gran zona de derrumbe.

III. INTERPRETACIÓN CONJUNTA

Evidentemente el análisis conjunto de las anomalías procedentes de los dos métodos geofísicos utilizados permite una interpretación más detallada del subsuelo que si se hubiese aplicado un único método. En la figura 8 se presenta la superposición de la rebanada rádar horizontal a 60 cm de profundidad —se ha considerado la más representativa— sobre el mapa de anomalías magnéticas.

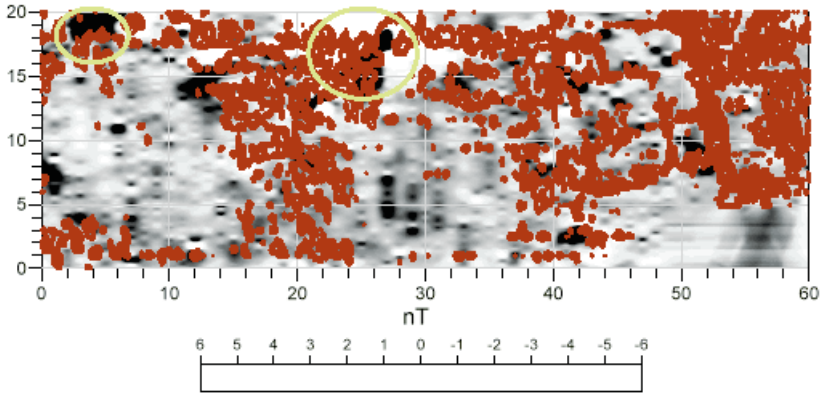


Figura 8. En la imagen se han superpuesto la rebanada rádar (a 60 cm de profundidad) sobre el magnetograma. Puede observarse la coincidencia de las zonas en donde probablemente no haya acumulación de material.

A partir de estos resultados se constata cómo el mapa de anomalías magnéticas ofrece una visión del terreno menos detallada que la imagen rádar y algunos de sus rasgos presentan cierta traslación debido a la bipolaridad de las anomalías magnéticas. No obstante, cuando las zonas sin acumulación de materiales son amplias, ambos métodos coinciden (figura 8). Si bien las imágenes rádar son más detalladas, hay algunas características del subsuelo que le pasan desapercibidas. Por ejemplo, las anomalías magnéticas fuertes marcadas en círculos y algunas negativas (manchas oscuras) no tienen correspondencia con el rádar y en cambio pueden interpretarse como lugares con restos de cerámicos, o lugares que sufrieron altas temperaturas (hogares, hornos, etc.).

IV. CONCLUSIONES

Este estudio ejemplifica como la realización de una prospección geofísica representa una buena propuesta para obtener información *a priori* sobre la distribución de los restos arqueológicos y las características del subsuelo de un yacimiento (figura 9). Así mismo, también se pone de manifiesto cómo el uso de varios métodos está en relación directa con el volumen de información que puede extraerse, puesto que cada uno de ellos tiene una respuesta geofísica distinta frente a los materiales del subsuelo.

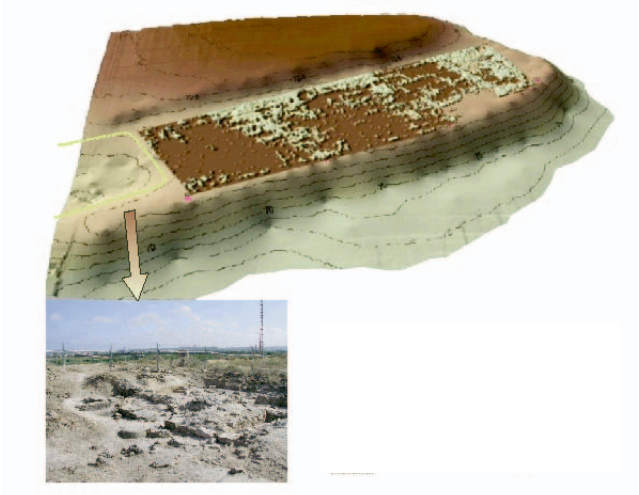


Figura 9. Distribución de los posibles restos arqueológicos en el bancal (parte superior) e imagen de las estructuras del templo (parte inferior) tomada desde el límite NE del área prospectada. El desnivel forma parte de la muralla.

La interpretación de la información geofísica aportada por los dos métodos utilizados en el reconocimiento del subsuelo ha permitido establecer que en el bancal Este, a intramuros del yacimiento de La Escuera, hay un considerable número de fuertes reflexiones rádar que describen geometrías que pueden asociarse a recintos, mientras que el mapa de anomalías magnéticas indica que algunos de estos recintos pueden albergar restos cerámicos y/o han sufrido incendios.

Desde el punto de vista arqueológico, las geometrías que descubre el rádar pueden interpretarse sin lugar a dudas como construcciones.

Se revela la existencia de un espacio abierto al este del templo y, un poco más allá en esa dirección, una serie de construcciones cuadradas, bastante regulares, adosadas a otra gran construcción que dobla para dirigirse hacia el norte, cuya envergadura nos hace pensar en la muralla y en un torreón o bastión de esquina. A la vista de estos resultados, la conclusión preliminar es que el espacio abierto y las estructuras existentes al este del templo podrían formar parte de un complejo cultual, o santuario de entrada, que ocuparía todo el sector entre la puerta de la muralla y el bastión de esquina.

Esperemos que en futuras excavaciones arqueológicas se pueda confirmar esta interpretación. De ser así, se confirmaría asimismo la idoneidad del método de prospección empleado.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, L. y SALA, F. 1997: "Sobre el posible uso cúltico de algunos edificios de la Contestania Ibérica", *Quad. Pre. Arq. Cast.* 18, Castellón: 91-102.

ABAD, L.; SALA, F.; GRAU, I.; MORATALLA, J.; PASTOR, A. y TENDERO, M. 2001: *Poblamiento ibérico en el Bajo Segura: El Oral (II) y La Escuera.* Bibliotheca Archaeologica Hispana, 12. Real Academia de la Historia. Madrid.

CONYERS, L.B. 2004: “Ground- Penetrating Radar for Archeology”. *Altamira Press,* ISBN: 0-7591-0772-6. PO Box 317. Oxford. OX2 9RU. UK.

DANIELS, D.J. (Editor) 2004: “Ground Penetrating Radar 2 nd Edition”. *The Institution of Electrical Engineers.* ISBN: 0 86341 360 9. London. UK.

LLOBREGAT CONESA, E. 1972: *Contestania Ibérica.* Instituto de Estudios Alicantinos. Alicante.

NORDSTRÖM, S. 1967: *Excavaciones en el poblado de La Escuera (San Fulgencio, Alicante).* T.V. del S.I.P., 34. Valencia.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LOS METALES ARQUEOLÓGICOS: PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y ARQUEOMETRÍA

CONSERVATION AND RESTORATION OF ARCHAEOLOGICAL METALS: METHODOLOGICAL PROPOSALS AND ARCHAEOMETRY

J. BARRIO, J. CHAMÓN, M. ARROYO, A.I. PARDO, E. CATALÁN

Laboratorio/Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico (SECYR).
Dpto. de Prehistoria y Arqueológico. Universidad Autónoma de Madrid.
Corresponding autor: Joaquín Barrio, joaquin.barrio@uam.es

RESUMEN

En este trabajo queremos poner de relieve la importancia de la arqueometría para la investigación de los problemas de deterioro de los metales de procedencia arqueológica y la determinación de propuestas y tratamientos de conservación/ restauración adecuadas a su estado. Y ello a partir de las experiencias de nuestro Grupo en los últimos 20 años dentro del Laboratorio de la UAM, dedicados con cierta preferencia a la restauración y conservación de los metales arqueológicos. Una tarea realizada en consonancia con las líneas de actuación emanadas del Metal Working Group - ICOM-CC en los últimos años. La utilidad de la investigación arqueométrica es muy destacable para los restauradores, a la hora de evaluar sus resultados en las intervenciones en las piezas metálicas dentro del SECYR, al permitir estas herramientas tecnológicas, importadas de los campos científicos experimentales o desde la industria, extraer nuevos datos o valorar los disponibles para un diagnóstico objetivo de estos elementos metálicos desde una nueva perspectiva. Esto no tiene otro significado que la asunción de la conservación y restauración como una "ciencia moderna", con todos los postulados que se aplican a esta categoría del conocimiento, aunque intrínsecamente arraigada en los estudios histórico-arqueológicos y patrimoniales.

ABSTRACT

In this work we expose the importance of archaeometry regarding the corrosion problems of archaeological metals; and also how, from archaeometry, can be inferred a proposal of conservation/restoration treatments adapted to the state of conservation of the object. The background of our group is build up from the last 20 years of experience dealing with archaeological metals in the UAM laboratory of Conservation and Restoration. A task fulfilled in consonance with the new trends emanating from the Metal Working Group – ICOM-CC in recent times. The use of archaeometrical research is very valuable for restorers when an evaluation of their intervention in metal objects is needed. Archaeometry provides technological tools, imported from the field of experimental sciences and industry, which allow us to extract and evaluate new data and also to determine, in an objective way, if we have reached our goals. This fact implies the assumption that Conservation and Restoration do have to be considered "modern sciences", with all the postulates that may be applied to this area of knowledge, in spite of both being intrinsically connected to the historical, archaeological and Cultural Heritage studies.

Palabras clave: Patrimonio Arqueológico, Metales, Conservación, Restauración, Metodología, Técnicas NDT, MEB-EDX, Radiología, DRX, Técnicas de haces de iones (IBA), Láser Nd:YAG.

Key words: *Archaeological Heritage, Metals, Conservation, Restoration, Methodology, Non-destructive Tests (NDT), SEM-EDS, Radiology, X-Ray diffraction (XRD), Ion Beam Analysis (IBA), Laser Nd:YAG.*

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios arqueométricos abarcan el estudio un gran número de materiales buscando cada vez la mejor información a través de instrumentación o técnicas más avanzadas. Parece oportuno indicar que hemos de dar la bienvenida a unas técnicas aplicadas procedentes de otros ámbitos científicos o industriales, pero que han desarrollado, bajo el prisma de la interdisciplinariedad entre analíticos y restauradores de obras, procedimientos de investigación, sistemas aplicados y productos capaces de abordar con mayores garantías el futuro de nuestro Patrimonio Arqueológico Metálico[1]. Si embargo, en numerosas ocasiones se requiere una reordenación de los objetivos metodológicos y experimentales de estas técnicas, para adecuarlos a un trabajo tan singular, y que sólo se logra con éxito si las aportaciones de campos diversos se ponen en común. Desde esta perspectiva hemos importado y adaptado un bagaje tecnológico que hoy resulta imprescindible en nuestro trabajo diario, en especial cuando se trata de mejorar las condiciones de conservación y mantenimiento de los metales antiguos, cuya intervención y recuperación suele ser compleja y de resultados difíciles, aun contando con el apoyo de la Arqueometría.

Esta óptica del análisis arqueométrico enfocado al área específica de conservación y restauración invita al dialogo de profesionales de tres campos: el conservador, el arqueólogo y el analista, que deben estar de acuerdo que su cometido es, no sólo el conocimiento y análisis de los materiales, sino principalmente la resolución de los problemas que afectan a las piezas. Este trabajo interdisciplinar nos llevaría a fijar unos criterios de intervención evaluando la idiosincrasia del objeto (contenido inmaterial —*estético-histórico*—) así como la composición del objeto y su degradación (contenido material —*físico*—); siempre teniendo en cuenta que ningún campo de la aplicación analítica puede suplir la tarea del restaurador/conservador de Bienes Culturales, pero sí mejorarla notablemente al proporcionar nuevas herramientas que pueden hacer su labor más precisa, orientándole sobre todo a resolver los problemas de una manera más acertada.

II. PLANTEAMIENTOS Y OBJETIVOS

A la hora de valorar la intensa y provechosa relación entre *Restauración* y *Arqueometría,* cabría valorar los siguientes aspectos:

- Conservación y Restauración se ha convertido en los últimos años en un área muy específica de la aplicación de los estudios arqueométricos; y ello responde sin duda a la tendencia más vanguardista de la restauración, donde prima el trabajo multidisciplinar.
- Nuestro cometido no es sólo el conocimiento y análisis de los materiales metálicos, sino principalmente el conocimiento de su deterioro concreto y la resolución de los problemas que les afectan; y a ello deben de ir encaminados todos los análisis e investigaciones que se realicen. De este modo, se realiza el diagnóstico de su estado de conservación, imprescindible para abordar la intervención restauradora.
- Ningún campo de la aplicación analítica puede suplir la tarea del restaurador/conservador de BBCC, pero sí mejorar notablemente su acción al proporcionarle a este profesional nuevas herramientas que pueden hacer su labor más precisa donde no llegan las técnicas tradicionales. Pero la analítica sí puede evaluar el resultado y efectividad de este trabajo del restaurador, planteando la posible evolución de los problemas en el futuro y proponiendo medidas de mantenimiento activo.

---

1. Parte de las investigaciones en que se basa este trabajo se han realizado en gran medida dentro de los proyectos Patrimonio Arqueológico y Conservación: Aplicación de innovaciones tecnológicas a la restauración de los metales antiguos (06/HSE/0233/2004), financiado por la Consejería de Educación. Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid y Tecnología, Conservación y Restauración de lo metales dorados medievales (HUM 2004-02058-Hist) financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, Dirección General de Investigación. Gobierno de España.

- El grado de especificidad de los metales arqueológicos es muy notable, si los comparamos con otros metales históricos que no han pasado por un enterramiento prolongado en el suelo. Esta singularidad del objeto metálico arqueológico viene dada por unas características bien conocidas: una elevada fragmentación con grave incidencia mecánica —debilidad física—, sus altos índices de alteración concretados en unos procesos de corrosión o deterioro en grado avanzado —debilidad química— y, sobre todo, una adaptación a unas variables ambientales en su medio de enterramiento durante un tiempo muy largo. Muchos de estos objetos ya fueron desechados o inutilizados en su momento. Esta evaluación es aplicable a la mayoría de los que son estudiados a diario procedentes de las excavaciones. Sólo se escapan a este diagnóstico los objetos más excepcionales que se exponen en museos o colecciones.

Por estas razones, los objetos a estudiar que integran el Patrimonio Arqueológico Metálico suelen estar necesitados de un tratamiento inmediato una vez que son encontrados en las investigaciones de campo y se ha realizado sobre ellos un tratamiento preventivo (Barrio, 1992; Watkinson y Neal, 1997:1-5; Orea *et al.,* 2001: 9-18).

Cada uno de estos objetivos expresados responde claramente a las necesidades que nosotros hemos encontrado a la hora de enfrentarnos a la restauración de objetos metálicos en el SECYR; sin duda, otros equipos o profesionales restauradores quizás perciban otros campos necesarios de investigación antes de abordar la ejecución de restauraciones en objetos metálicos.

III. ÁREAS DE INCIDENCIA ENTRE ARQUEOMETRÍA Y CONSERVACIÓN: HACIA EL DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA ESPECÍFICA

Probablemente convenga, en este ensayo general al que queremos dar contenido, referirnos a las **áreas de incidencia de la arqueometría para la conservación y restauración**. Para realizar un estudio que cumpla con éxito los objetivos planteados hay que buscar o definir los campos en que las investigaciones y las técnicas analíticas se pondrán al servicio de esta finalidad patrimonial, y que en ocasiones anteriores ya hemos venido poniendo de relieve en trabajos anteriores con referencia al Patrimonio Arqueológico Mueble (Barrio, 2006; Barrio *et al.,* 2007).Se podrían generalizar en cuatro grupos:

A) Análisis físico-químicos

Hemos de apuntar que éste ha sido el ámbito más tradicional en el que se han movido los estudios arqueométrico. Parece oportuno, no obstante, indicar que cualquier estudio metodológico sobre metales arqueológicos, arduo de por sí, supone pasar de largo en el máximo de referencias cronológicas concretas, sin entrar en los pormenores sobre la época del objeto. Así mismo, y éste es un rasgo ineludible a la metodología, supone dejar al margen la cualificación o excelencia de la pieza, tratando por igual a todas ellas, sin dependencia de su rareza o del valor museístico que se le dé por los arqueólogos o prehistoriadores.

La finalidad de estos análisis deben de estar perfectamente claros: conocer el objeto en todas sus vertientes, partiendo prioritariamente de su **análisis intrínseco**. Y estas vertientes son las que nos deparan los datos tecnológicos, funcionales, representativos, estéticos, o conservativos; por deformación profesional es en esta última en la que podemos hacer una aportación fundamentada en este Congreso, pues es sobre la que más hemos trabajado en los últimos años, y por ello, mejor conocemos. Pero hemos de decir que esta perspectiva conservativa por su implicación directa en la materia física de los objetos metálicos y por su incidencia directa en el futuro de estas piezas, aglutina el desarrollo metodológico con una mayor amplitud; ninguna de las variables puede escapar al interés de la conservación, puesto que cual-

quier posibilidad de estudio siempre dependerá de que el objeto metálico esté en condiciones aceptables para ser manejado e investigado. La metodología debe implicar el uso de las herramientas y técnicas adecuadas para el análisis de los diversos aspectos que deseamos conocer en el objeto metálico, antes, durante o después de su restauración. Y estas herramientas se alimentan cada vez más de una tecnología innovadora que, de acuerdo a sus posibilidades, aporta datos valiosos (Barrio *et al.,* 2007).

Las técnicas que hemos venido utilizando en los últimos años para estudiar y conservar los metales arqueológicos que llegan a nuestro laboratorio han sido las siguientes: radiología convencional, SEM con EDX, FRX, DRX, técnicas IBA (PIXE, RBS…). Casi siempre se ha hecho un uso combinado o complementado entre dos o más de ellas. Algunas de las referidas son aplicables sólo sobre muestras o pequeños objeto, al tener que ser dispuestas en cámaras estancas al vacío; otras en cambio pueden aplicarse al medio ambiente, dependiendo de las dimensiones y sobre la pieza completa. Así mismo encontramos desde grandes instalaciones como el CMAM (Centro de Microanálisis de Materiales) hasta equipos portátiles, accesibles para los propios laboratorios o talleres de restauración. Todas ellas están agrupadas actualmente en el campo de los Ensayos no Destructivos, y a éstas se vienen dedicando congresos monográfico referidos a su aplicación en los bienes patrimoniales (AA.VV., 2005).

¿Qué metodología podría seguirse con el fin de obtener el máximo de datos posibles del estudio de un objeto metálico, teniendo en cuenta los variados objetivos que debemos cubrir a la hora de la conservación y restauración de dichas las piezas?

Para nosotros todas estas técnicas deben estar insertadas en un mismo plan de trabajo, durante el cual las técnicas requeridas presentan un **alto grado de interconexión**, de modo que un mismo análisis podrá aportarnos datos para varios de estos campos de estudio. Por ejemplo, una placa de radiografía realizada cuando llega al laboratorio desde la excavación podrá decirnos si un cuchillo está muy corroído en su interior y a la vez si muestra detalles decorativos en su empuñadura o su hoja que no son visibles bajo las capas de corrosión. Lo mismo podría ofrecer un análisis de SEM-EDX, dándonos a la vez datos de la tecnología, del daño microestructural, y de elementos responsables de la corrosión activa de una pieza.

En los escasos estudios monográficos sobre la conservación de objetos metálicos de procedencia arqueológica, no se ha hecho mucho hincapié en clarificar el **planteamiento metodológico** sobre las etapas que deben darse para efectuar una correcta investigación arqueométrica encaminada a su restauración final; quizás podríamos denominarlo **protocolo de estudio** y tendría cierta similitud al que se conoce como **protocolo de intervención** ejecutado durante la restauración de una pieza metálica. De este modo la adecuación de los objetivos a un estricto plan de trabajo conducirá a un resultado provechoso.

Por su claridad, se puede tomar como base el siguiente esquema (Montoto, 1996: 47), adecuándolo a la particularidad del estudio para la conservación de los metales arqueológicos antiguos: elección de una técnica inocua para el metal (END-Ensayos No Destructivos), desarrollo de proceso y adquisición de datos, e interpretación y valoración del resultado.

B) Proceso de intervención y tratamiento

Este es el campo más crucial, el más determinante en el proceso de la restauración de cualquier objeto de Patrimonio Arqueológico Metálico, pues el grueso de las piezas nos llega al SECYR con notables problemas de alteración que deben ser corregidos ineludiblemente. También en este ámbito, quizás el más tradicional dentro de la conservación y restauración de obras arqueológicas, las técnicas han supuesto una notable mejoría en el instrumental disponible en la actualidad. A modo de ejemplo podemos referir las técnicas láser para limpieza por procedimiento de ablación, el horno de plasma a baja temperatura, las limpiezas mediante control potenciométrico, etc.

La utilización de cualquier técnica en este campo, y más si son de nueva implantación, exige mucha experiencia, puesto que las acciones a desarrollar son nada o poco reversibles. Por eso se exige a estas tecnologías una inocuidad contrastada y el control máximo posible; bien es verdad, que sin llegar a ser una panacea en ningún caso. Pero esta mejora tecnológica debe llevar añadido un estudio de los resultados de incidencia que las acciones de estas nuevas herramientas generan sobre los metales, y todo ello en comparación con los sistemas tradicionales. **Supone la asunción de mayores riesgos**, a valorar en relación con las ventajas que nos genera la resolución de problemas serios. Por todo ello, **al estar implicada su acción directa sobre las piezas**, debe estar **asegurada su fiabilidad** sobre ensayos reales, para lo que se precisa un registro eficaz y puntual mediante análisis arqueométricos. Recomendamos por experiencia que la validación definitiva de los resultados de una limpieza, por ejemplo, se hagan sobre las piezas reales, no sólo sobre muestras de laboratorio —éstas sí pueden servir como indicio—, donde es imposible reproducir toda la heterogeneidad y el deterioro de un metal arqueológico. En definitiva, la Arqueometría puede ofrecer una garantía a la complementariedad de los tratamientos tradicionales con los innovadores, determinando la eficacia para la estabilización del metal arqueológico, objetivo último del proceso de intervención restauradora.

C) Conservación preventiva y mantenimiento

Aunque nuestra experiencia como grupo, no se ha centrado en los aspectos que se integran hoy bajo el término de *conservación preventiva,* los trabajos en este campo tienen la mayor relevancia, pues es mediante estas técnicas como mejor se garantiza la estabilidad de los metales arqueológicos en la etapa futura post-restauración. Es preciso hacer una inspección permanente de los metales ubicados en los espacios museísticos, expositivos o durante los tiempos de transporte, con la periodicidad que los responsables de su custodia determinen, evaluada la sensibilidad a la activación del deterioro de cada colección, o para ser más correctos, de la sensibilidad de cada pieza. Es lógico indicar que la intensidad de la evaluación de las inspecciones preventivas dependerá mucho de la adecuación de los edificios donde se mantengan los objetos metálicos almacenados o expuestos; y ésta no siempre es la óptima.

De todos modos, el ámbito de mayor interés para ser evaluado mediante técnicas de arqueometría es el referido a los protectores, consolidantes y adhesivos usados para la integración de muchas de las piezas metálicas, en buena parte materiales sintéticos o compuestos producidos para otros cometidos en el campo industrial. Interesa por ello una valoración de los resultados de la efectividad de estos nuevos materiales aplicados sobre metales antiguos. La mayor dificultad está en contar con suficientes ensayos y experiencias en materiales arqueológicos, pues las aplicaciones industriales y los ensayos experimentales a veces tienen poco que ver con las necesidades concretas de las piezas arqueológicas debido a la heterogeneidad de su composición y a las irregularidades surgidas como efecto del prolongado enterramiento. La respuesta real con el paso del tiempo de un consolidante o adhesivo exige una atenta y constante evaluación mediante análisis.

D) Aplicaciones informáticas y recursos digitales

Su cometido fundamental estará en mejorar la aplicabilidad de las técnicas de análisis, modelizar los resultados de las reintegraciones o añadidos y en obtener una mejor documentación y más rápida de todo el proceso de restauración de la pieza. Aunque en este trabajo no entraremos en pormenores de la acción de estas tecnologías en el campo de la conservación y restauración de los metales arqueológicos, a modo de ejemplo podrían ser: digitalización mediante láser 3D, tratamiento digital de imagen con programas informáticos, reflectología digital, radiología digital, algoritmos de computación para resolver señales de ultrasonido u otros instrumentos, etc. En los casos en que se ha conseguido una acertada combinación entre técnicas de análisis y recursos computacionales, por ejemplo la reflectografía de infrarrojos, el resultado ha sido muy valioso (Antelo *et al.,* 2006: 86-99).

IV. DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA RELACIÓN ARQUEOMETRÍA Y CONSERVACIÓN: ALGUNOS CASOS PARTICULARES

De todos modos queremos centrar nuestro trabajo en este Congreso en **valorar la inserción de las técnicas de Arqueometría en las distintas etapas de la conservación/restauración de los metales de procedencia arqueológica**. En líneas precedentes ya apuntábamos la idea de que tal vez convendría establecer un **protocolo de acción** en este campo.

1ª) Etapa de diagnóstico

Esta es la primera etapa a la que se enfrenta un restaurador/conservador cuando el objeto entra en su laboratorio y es de principal importancia pues en base al diagnóstico que haga de la pieza va a decidir la fórmula y el proceso de intervención del objeto. La lógica de cada intervención debe ante todo estar motivada por una investigación preventiva de diagnóstico con identificación de los problemas de alteración detectados en las piezas metálicas a restaurar. Ahora el objetivo básico de la Arqueometría sería detectar el deterioro de los metales antiguos; identificar los problemas, las causas y los mecanismos responsables de éstos.

Muchas veces la experiencia profesional del propio restaurador hará posible el diagnóstico visual e inicial de los problemas de deterioro evitando así un sinfín de análisis rutinarios que elevaría el costo económico de la restauración del objeto. Si bien cuando haya dudas razonables es necesario recurrir a la Arqueometría, además una buena práctica es realizar algún análisis rutinario para verificar o corroborar que la experiencia del restaurador está ajustándose fielmente a la realidad de la problemática del objeto.

Desde la Arqueometría se debe propiciar la adaptación de los equipos industriales a un campo bien distinto y con unas necesidades tan diferentes a las de la industria. El campo patrimonial exigiría sus propios equipamientos analíticos, pero pocas veces se llevan a cabo, dada su escasa rentabilidad para las empresas de ingeniería aplicada. Por ello casi siempre las adaptaciones son el resultado de la experiencia, ingenio y trabajo de unos profesionales de la Arqueometría, conocedores bien de las necesidades propias (Ferretti/Moioli, 1998). Uno de los equipos de FRX de configuración más reciente, desarrollado expresamente para sus aplicación en nuestro campo, es el modelo ART-TAX® (Gross y Waldschlänger, 2005).

Desde hace años venimos haciendo lo posible en el SECYR para en los proyectos desarrollados aplicar los análisis más adecuados y necesarios para el diagnóstico de los metales que deberán ser intervenidos. Quizás como referencia obligada de ese primer contacto de las piezas con las técnicas de análisis, y a modo de ejemplo, se puede citar el estudio arqueométrico basado en las radiografías del objeto metálico antes de su intervención. La inspección se realiza de manera completa y con total garantía de inocuidad, y resulta especialmente útil cuando las piezas llegan de la excavación cubiertas totalmente por un paquete de tierras y corrosión que impiden saber de qué se trata (Fig. 1). Esta técnica es básica para inspeccionar y diagnosticar la estructura interna de los objetos, permitiendo conocer con rapidez la cantidad de núcleo metálico que se ha preservado, la existencia de fracturas internas, segregaciones, etc. Y en este mismo estudio radiológico se puede evaluar también la tecnología de fabricación, poros, soldaduras, motivos decorativos ocultos por la corrosión, o motivos casi perdidos…

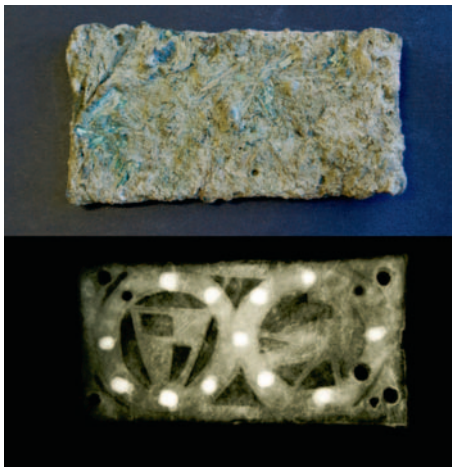


Figura 1. Imagen visible y placa de RX de una placa rectangular fuertemente corroída procedente de la ciudad islámica de Qalat Rabah; los motivos decorativos son bien detectados y registrados con esta técnica (Centro de Radiología Industrial, CAM).

En un proyecto de restauración de **objetos de hierros del yacimiento prerromano de Capote** (Barrio y Hermana, 2001), el estudio radiológico nos permitió conocer con mucho detalle el estado de deterioro estructural de algunas piezas y el estudio analítico con SEM-EDX atestiguar y registrar las características y composición de este deterioro.

En las piezas de este conjunto se pueden observar zonas de alta absorción radiográfica que se evidencia en zonas más claras, con menor nivel de grises (núcleo metálico restante), y también muy abundantes zonas de baja absorción que dejan su rastro en áreas más obscuras, de alto nivel de grises (paquete de productos de deterioro y estructuras mineralizadas). En este último caso se correspondería con las capas de corrosión que necesitan unas condiciones radiográficas de menor energía, y por ello su visualización se vuelve más difícil.

Interesa, por lo demás, desde la óptica arqueométrica detallar las condiciones radiográficas para el análisis de las piezas de Capote:

AGENTE RADIOGRÁFICO	RAYOS X
Tensión	80 a 120 kV (general) 250 kV (piezas mayor espesor).
Exposición	9mA x min
Filtros	En ventana: 1 mm Al + 3 mm Be En película: 0,3 mm Cu.
Hojas reforzadas	0,02 mm Pb entre 100 y 120 kV
Película	Tipo II/ ASTM
Distancia f.p.	700 mm

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en las líneas precedentes, los análisis radiográficos sobre algunas piezas de Capote nos permiten las consideraciones de interés que siguen.

La placa de la *Hoz 1* (Fig.2) que se presenta en varios fragmentos, muestra una escasa presencia de núcleo metálico, quizás sólo residual en puntos inconexos, más próximos siempre a la parte superior de la lámina, cerca de la zona del enmangue; sin duda el mayor espesor lo ha hecho posible. En el dorso superior se aprecia la línea continua de la superficie original, levemente desprendida de su situación. La mineralización diseña un mapa irregular de áreas con distinto grado de pérdida de materia metálica, situación que parece haber llegado en su desarrollo completo en todo el filo y los fragmentos de menor tamaño. No se destacan fisuras apreciables, que hagan pensar en nuevas fracturas.

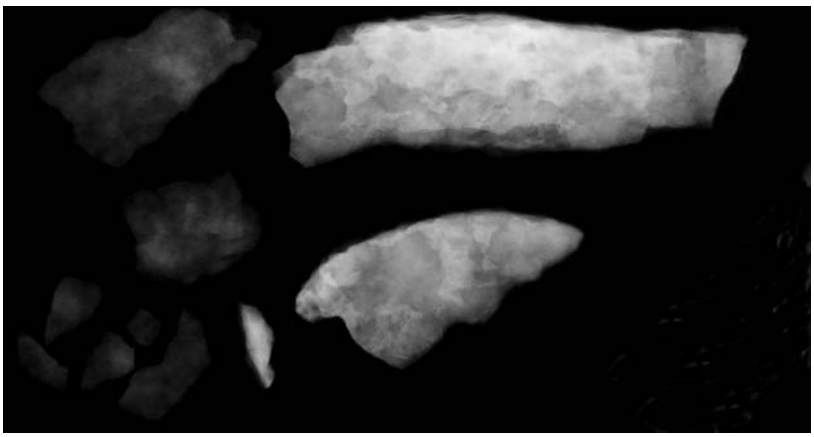


Figura 2. Imagen de RX de la Hoz 1, procedente del yacimiento prerromano de Capote (Higuera la Real, Badajoz).

En cuanto a la *Hoz 2* su análisis radiográfico permite alguna puntualización más (Fig. 3). Es muy destacable las notables diferencias de mineralización entre la zona de corte de la hoz y el sector del enmangue, donde queda aún parte de su núcleo metálico, aunque se presentan puntos ya perdidos; es de destacar la perfecta definición de los dos remaches del mango, uno de ellos ya inexistente y el otro que ha mantenido el hierro casi intacto. El proceso de mineralización ha llevado a la desaparición de la región intermedia, donde la unión es endeble y sin fibra en estado metálico que la sustente. Por lo que respecta a la zona extrema de la hoja se muestran con claridad los focos de corrosión completa en forma de cráteres, típicos de la actividad permanente y activa. Sólo en la zona intermedia del dorso de la hoz se ve un pequeño rastro de la película original separada ya por una pequeña fisura longitudinal, lógica en el fenómeno de hojaldrado del hierro de estas piezas realizadas a forja.

Figura 3. Imagen de RX de la Hoz 2, procedente del yacimiento prerromano de Capote (Higuera la Real, Badajoz), donde son detectables áreas de profunda corrosión.

En el *Cuchillo 1,* la impresión de la placa nos permite algunos aspectos a valorar (Fig. 4). Por un lado la diferencia del estado del hierro entre la virola de la empuñadura, bien conservada, y el resto de la hoja, cada vez mineralizada en mayor medida según nos acercamos a la punta, si bien no llega a los niveles de la pieza anterior. Resaltan de nuevo los cráteres en forma de picadura activa donde la corrosión es muy alta, así como en los tres remaches del mango, ya sin residuos de hierro metálico. En esta pieza sí podemos ver bien recortada la línea de la película original en el dorso de la hoja del cuchillo, y algo menor en el filo; no obstante se pueden apreciar algunas fisuras que lo desplazan en altura.

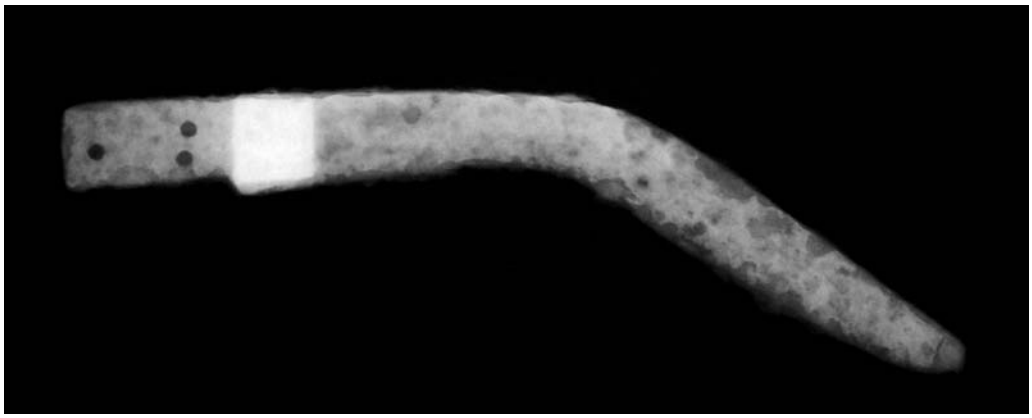


Figura 4. Imagen de RX del Cuchillo 1, procedente del yacimiento prerromano de Capote (Higuera la Real, Badajoz), con notables diferencias en estado de conservación del metal entre la hoja y la espiga de la empuñadura.

Los análisis mediante Microscopía Óptica y SEM-EDX de algunas muestras desprendidas en el proceso de corrosión de estas piezas, hicieron posible determinar los detalles compositivos de este deterioro, así como las causas que lo habían determinado desde siglos antes en su lugar de enterramiento y que seguían incidiendo en el momento de restaurarlo. Los hierros de este yacimiento se han conformado en un acero hipoeutectoide (0,15-0,2% C), en muchos casos elaborados a partir de chatarra o retales de otras piezas; de ahí su gran heterogeneidad que en su día le concedió malas propiedades mecánicas y que *a posteriori* durante el enterramiento provoca una mayor disposición para la corrosión (Criado *et al.,* 1998).

Resulta interesante reconocer la corrosión en la mayoría de las piezas en forma de capas porosas con aspecto de corteza de árbol, una disposición que se debe a que la formación de óxido no es continua, sino en períodos cíclicos en que las condiciones del medio geológico son más favorables.

La investigación pormenorizada se realizó sobre una lámina desprendida de la *Hoz 2.* Se trata de una muestra completamente mineralizada, salvo unos pequeños residuos metálicos sin repercusión en la resistencia mecánica, con una estructura donde sólo se puede valorar la composición y forma del paquete corroído. Es interesante evaluar cómo el estado del óxido reproduce la estructura laminar y fibrosa que se creó mediante una forma en caliente, con estiramiento en una sola dirección. La disposición en capas simula una corteza en extremo porosa y fisurada, donde ha sido posible alojar las aguas intersticiales. Las numerosas cavidades son fruto del continuo cambio de volumen de los óxidos, y constituyen los espacios preferentes para la ubicación y crecimiento de los grupos iónicos con presencia de cloro, como se detectó en los análisis de EDX (Fig. 5 a, b, c y d). En peso atómico la masa de cloro es muy importante llegando a suponer el 10% como se verifica en el análisis de EDX presentado en la fig. 5c. Estos cristales de un compuesto de hierro combinado con presencia de cloro, en su crecimiento dentro de las cavernas interlaminares ejercen una presión que acaba desprendiendo progresiva y paulatinamente partes de la pieza de hierro afectada, hasta dejarla reducida a una *raspa* irreconocible.

Este diagnóstico preciso nos permitió proponer unos tratamientos que hiciese posible, no sólo la limpieza de la capas de corrosión externa más voluminosa, sino evacuar estos compuestos de iones Cl- del interior de las piezas, hasta donde fuera posible, sin hacer peligrar la integridad física y manteniendo la superficie original que aún quedaba transformada en óxidos más estables.

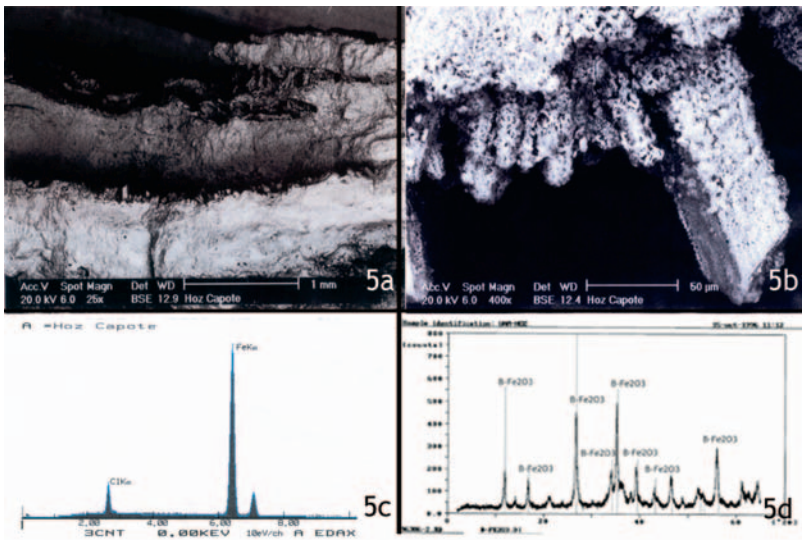


Figura 5. (a) Imagen SEM de la caverna con cristales de Akaganeita creciendo en su interior. (b) Detalle de las características y estructura de estos cristales. (c) Análisis EDAX mostrando la composición elemental de hierro y cloro. (d) Difractograma mostrando la cristalinidad del óxido, B-Fe2O4, akagenita. (IGME Madrid).

La misma metodología de diagnóstico y uso de recursos analíticos hicimos extensiva en el SECYR a otros casos de piezas de hierro (falcatas, cuchillos, herramientas, clavos, hebillas…), también en un estado de conservación muy lamentable, y necesitadas de una restauración urgente (Barrio y Hermana, 2005).

2ª) Etapa de intervención: limpieza, eliminación del deterioro y reintegración

La intervención sobre un objeto metálico debe por tanto estar rigurosamente justificada y orientada a la recuperación y la conservación del bien, además de responder a los principios y protocolos de acción determinados en las normas de restauración. El significado histórico y valor documental de cada pieza obligan a ello. Una vez decidida la necesidad de intervenir es necesario alcanzar una solución óptima utilizando algunos criterios generales que garanticen a priori la fiabilidad, seguridad y durabilidad de los procedimientos de la restauración.

Ante todo es necesario efectuar una elección razonada, tras un cuidadoso análisis comparativo de diferentes hipótesis, en función de la solución que se pretende llevar a cabo ejecutando la intervención sobre el objeto metálico. Esta solución debería ser preferentemente integral para que la intervención sea lo más general y en cierto modo lo más repetitiva posible y por tanto, lo más controlable posible en sus efectos en el futuro. Así pues, la Arqueometría resulta necesaria para investigar la utilización de materiales y técnicas apropiadas en la restauración, evaluando el resultado de las técnicas tradiciones y de los métodos de intervención restauradora innovadores sobre los metales arqueológicos; y todo para poder establecer normas de trabajo y procedimientos bien testados *(protocolo de acción).*

Esta etapa resulta crítica, pues el restaurador actuará directamente sobre el objeto produciendo en él cambios irreversibles, con el fin de recuperar, en la medida de sus posibilidades, el aspecto original del objeto. La Arqueometría ayuda a encontrar y evaluar qué materiales y técnicas son los idóneos durante la intervención. Además, también permite considerar el grado de limpieza o el daño que sufre el objeto cuando se le aplica un tratamiento determinado, dentro de ese *protocolo,* sin que estén sujetos a la subjetividad del trabajador, y teniendo preferencia por la recuperación de la superficie original registrada adecuadamente. Las normas internacionales inciden en este cuidado por la recuperación de las pátinas.

Durante esta etapa, clave en la restauración de piezas metálicas, los análisis arqueométricos nos permiten comparar la eficacia de técnicas tradicionales frente a nuevas tecnologías introducidas en los últimos años.

La evaluación de las ventajas y desventajas, costo en tiempo y económico y grado de perfección de la intervención nos permitirá decidir que técnica de intervención es más adecuada. La inspección arqueométrica debe ser una ayuda para mejorar los tratamientos manuales o los químico-físicos habituales. Los análisis deben aportar datos para una clara mejora y una alternativa innovadora sobre los tratamientos mecánicos, si es que esta posibilidad existe entre los tratamientos propuestos para una pieza.

Por ejemplo, sobre la alternativa innovadora que supone el uso del láser en restauración, y su validación mediante técnicas arqueométricas, queremos presentar algún caso sobre el que hemos trabajo en el Grupo los últimos años (Barrio *et al.,* 2006; Barrio *et al.,* 2007; Chamón *et al.,* 2007). Es cada día más patente que ésta es una aplicación relevante en los metales arqueológicos que han de ser restaurados, cuando estos presentan procesos de alteración y paquetes de corrosión muy resistentes. En este sentido, muestra unas expectativas que deben de sustanciarse en el corto plazo con ayuda de la Arqueometría, bajo estos parámetros:

a) Las experiencias sobre piezas metálicas arqueológicas son muy recientes.
b) Sólo parece posible por el momento en ciertos metales: nobles, bronces, hierros…
c) La complementación con otras técnicas es evidente, tanto mecánicas como electroquímicas.
d) Los resultados no son tan homogéneos como en piedra, donde la experiencia tiene casi 20 años.
e) Falta aún mucho que investigar para contrastar los resultados con técnicas arqueométricas.

El caso de la intervención con láser de ablación para la limpieza de un objeto puede usarse como un ejemplo de un estudio arqueométrico con fines de restauración, ya que implica varios métodos de análisis debido a que la interacción láser-materia no resulta evidente.

En la etapa de diagnóstico debemos caracterizar no sólo el objeto sino además los productos de corrosión que presente en superficie y si es posible en su interior. Para esto pueden usarse diversas técnicas arqueométricas como DRX, SEM, etc. Normalmente cuando se opta por la técnica láser es por que el objeto presenta peculiaridades que lo hace incompatible con la limpieza mecánica tradicional, como pueden ser:

- En **objetos frágiles o sin núcleo metálico**, la presión mecánica puede fracturar el objeto o ayudar a que progrese alguna grieta ya nucleada en el interior de objeto llegando a la rotura del mismo con la más mínima presión.
- En **objetos cuya superficie es crítica** para su investigación arqueo-histórica, para su exposición, o su valoración estética o de mercado (monedas, plomos epigráficos, objetos dorados o plateados, nihelados, etc.), una limpieza mecánica puede dañarles en forma de rayado o deterioro, produciendo un pobre efecto estético e incluso llegando a obstaculizar el estudio del objeto por parte de los arqueólogos.
- **Objetos con topografías muy complejas**, cuando el perfil de la superficie original obtenido mediante un útil mecánico depende bastante de la pericia, intuición o experiencia del restaurador ya que es casi inevitable perder parte del contorno del objeto.

Una vez que conocemos el objeto y determinamos el estado de conservación del objeto metálico que llega al SECYR y tenemos un plan de intervención, pasamos a la irradiación de la superficie del objeto con el láser. La elección de la energía del láser y sus parámetros, así como el conocimiento de cómo va a comportarse nuestro objeto frente a la luz láser, debe haberse adquirido en pruebas anteriores con materiales similares de entidad menor y haberse evaluado desde un punto de vista arqueométrico, pues el fin último es la integridad de la pieza y debería minimizarse las pruebas de ensayo y error sobre su superficie. Una vez más la caracterización de la superficie irradiada en busca de los mecanismos de ablación láser va a ser la clave para evaluar el éxito de la intervención. El equipo Láser del SECYR utilizado en nuestros trabajos es un modelos comercial de En.El. S.A., para LaserTechIbérica[2] y responde a estos parámetros: Láser de Nd:YAG ; λ: 1064 nm.; pulso: 60-120 ms.; energía: 50-1000 mJ.; Frecuencia: 1-20 Hz.; Spot: 1.5-6 mm.

El primer caso a comentar se remite a la restauración de dos cuchillos de hierro, el primero de época romana procedente de la villa de El Pañuelo (Villamanta, Madrid), y el segundo, de un pequeño puñal localizado en la ciudad islámica de Qalat Rabah (Calatrava la Vieja, Ciudad Real) (Fig. 6 y 7). Presentaban una película de corrosión muy fina, manteniendo áreas de la superficie original transformada en óxidos; la recuperación de la película original podía falsearse con una limpieza mecánica con microtorno. Por ello se eligió como alternativa el láser. La inspección y validación arqueométrica se fue realizando mediante técnicas DRX y SEM-EDX (Tabla 1), detectando la formación de compuestos con estructura *espinela,* de gran estabilidad en la superficie del metal. Así pues, el resultado final fue bastante satisfactorio, privilegiando la conservación de la pátina y modificando los productos de deterioro.

2. El láser utilizado en los trabajos es de la marca El. En. Italia, distribuido en España por LaserTech Ibérica.

Figura 6. Comparativa de dos imágenes de un cuchillo de hierro procedente de la villa de El Pañuelo (Villamanta, Madrid), cuya superficie se limpió con láser. Las distintas zonas sufrieron distinto número de pulsos láseres.

Figura 7. Comparativa de imágenes durante la restauración con láser. Cuchillo de la ciudad de Qalat Rabah (Calatrava la Vieja, Ciudad Real).

PIEZA	CORROSIÓN (productos detectados antes de la intervención)	LÁSER (productos detectados después de la intervención)	PRODUCTOS ESTABLES (Espinelas detectadas después la ablación del Láser)
Cuchillo romano Villa Pañuelo	Calcita Goetita Silicato de magnesio y aluminio	Magnetita Wustita Macaulayita (silicato de hierro)	Fe_3O_4
Mango cuchillo medieval (Calatrava la Vieja)	Calcita Sulfuro de cobre Cobre	Magnetita Cuprita	Fe_3O_4
Hoja cuchillo medieval (Calatrava la Vieja)	Fosfato de hierro Jarosita (sulfato de hierro)	Magnesoferrita Hematita Carburo de silicio	$MgFe_2O_4$

Tabla 1. Confirmación con DRX del grado de limpieza y de la transformación de los productos de corrosión.

Un segundo caso diferente del trabajo de restauración con láser se realizó sobre una pieza dorada de época medieval (Fig. 8), procedente de la ciudad islámica de Qalat Rabah (Calatrava la Vieja, Ciudad Real). Esta pieza dorada al fuego con amalgama de mercurio, presentaba para su limpieza una topografía muy compleja, donde todo el bajorrelieve cajeado se rellena de una decoración impresa de pequeños círculos; en estos intersticios se introducen los óxidos y cloruros de cobre. La resistencia de los productos de corrosión del cobre, superpuestos a la capa dorada, además de la fragilidad de película dorada de unas pocas micras, decide la intervención mediante el láser, puesto que las pruebas iniciales con medios mecánicos ocasionaba un daño considerable por rayado en la capa dorada (Figs. 9 y 10). La validación fuimos haciéndola con las técnicas de Microscopía Óptica, DRX, SEM-EDX, añadiendo ahora análisis IBA para mejor conocimiento de los aspectos tecnológicos y del espesor de la capa dorada (PIXE y RBS) (Barrio *et al.,* 2005).

Figura 8. Pieza dorada de Calatrava la Vieja antes (8a) y después del láser (8b).

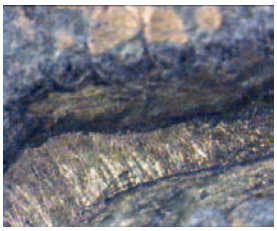


Figura 9. Imagen óptica de detalle de las incisiones dejadas por la limpieza mecánica en la figura 8.

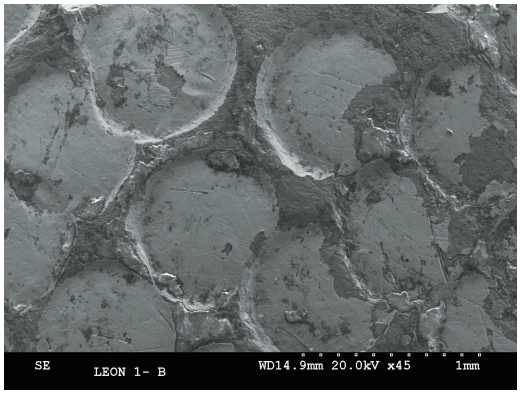


Figura 10. Imagen SEM de electrones secundarios donde se aprecia la ausencia de rayado dejado con el láser sobre la misma figura 8.

En base a nuestras experiencias y a día de hoy, hemos visto que el láser para limpieza de metales ar-queológicos resulta una herramienta enormemente útil, sino imprescindible, para casos con cierta complejidad en la recuperación de la película original, cuando las técnicas mecánicas supongan cierto riesgo para la conservación de la integridad de la superficie del objeto. Nuestros casos han tenido cierto éxito dependiendo de la naturaleza del metal, pues los metales nobles o dorados, bronces o hierros no se comportan igual a esta técnica de limpieza. Es casi siempre necesaria que la intervención láser sea complementada con métodos mecánicos y aún así no dan resultados tan homogéneos como el láser para limpieza de piedra. Por tanto, falta todavía mucha investigación en este tema, y en él, el apoyo de los análisis arqueométricos deberá ser determinante para la validación de sus resultados en la restauración del Patrimonio Arqueológico Metálico.

3ª) Etapa de estabilización y prevención

Esta etapa pretende eliminar por completo los compuestos activos de la corrosión que en contacto con humedad y el aire podrían activar otra vez su desarrollo. También pretende sellar el objeto al medio

ambiente para preservarlo sin alterar durante el mayor tiempo posible. La Arqueometría aquí tiene un doble uso; primero sobre el objeto para comprobar que no se ha reactivado ningún proceso de degradación, y segundo centrando el estudio sobre los propios materiales protectores, a fin de evaluar su capacidad de inhibición o bien su permeabilidad al oxígeno.

Comentamos, al respecto, la experiencia de la investigación realizada sobre un conjunto de piezas de hierro celtibéricas incluidas en la exposición del Museo del Ejército y procedentes de la necrópolis de Portuguí, correspondiente al asentamiento de Uxama Argaelae (Barrio *et al.,* 1998).

Se trataba de hacer una valoración de la reactivación del proceso de corrosión en un conjunto restaurado en 1965 en el entonces ICROA (hoy IPHE), y expuesto en unas vitrinas de roble macizo en las salas de armamento antiguo de este Museo, en el centro de la ciudad de Madrid. Las limpiezas habían sido por procedimientos mecánicos y electroquímicos, con una consolidación superficial preventiva a base de ceras o resinas coloreadas con grafito o con pinturas al óleo. A partir de una serie de muestras de pequeñas laminillas desprendidas al activarse de nuevo la corrosión, y mediante técnicas de MEB con EDX, se pudo determinar la presencia constante de iones de Cl formando cristales, emergiendo a través de las fisuras del hierro, como por ejemplo, en la espada de antenas que mostramos (Fig.11 a, b y c). La comprobación dio como resultado (fig. 11c) que eran los cristales de akaganeita (ß-Fe_2O_3) donde está presente el Cl como responsable de este deterioro; y que han sido las condiciones expositivas de la sala y en especial de la vitrina las desencadenantes de esta activación. Han sido vapores orgánicos desprendidos de las maderas de la vitrina, así como la falta de control de la HR, los que han colaborado en el desencadenamiento de todo el proceso de corrosión post-restauración. Toda esta evaluación arqueométrica sirvió para proponer al Museo un nuevo procedimiento de restauración de estas piezas metálicas, con aplicación de inhibidores efectivos como los organotitanatos, que nos habían dado tan buenos resultados en otro conjunto de armas celtibéricas procedentes de la necrópolis de Numancia (Barrio y Hermana 2005), y sobre ésta una película de protección bicapa de Paralloid® y Cosmolloid®.

Figura 11. a) Imagen de la espada antenas analizada. b) Imagen SEM de los cristales responsables de la activación del deterioro de las piezas del Museo del Ejército. Ubicación en la cresta. c) Espectro EDX realizado sobre el deterioro de la laminilla de la espada de antenas del Museo del Ejército (SIDI, UAM).

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de técnicas de arqueometría resulta imprescindible en la restauración científica del siglo XXI. En el caso de los metales de procedencia arqueológica aún con mayor necesidad dada la complejidad de sus problemas de conservación.
- La metodología de aplicación de las técnicas de arqueometría debe estar supeditado a los objetivos propuestos en las distintas fases del desarrollo de las intervenciones de conservación y restauración. Primero un diagnóstico, después intervención y por último conservación preventiva y seguimiento.
- El objetivo básico de la arqueometría aplicada a la restauración es detectar el deterioro de los metales antiguos; las causas y los mecanismos responsables de éstos.

- La arqueometría también debe ser aplicada para investigar y evaluar los resultados de la utilización de materiales y técnicas apropiadas en la restauración, para establecer normas de trabajo y procedimientos bien testados.
- Desde la arqueometría se debe de propiciar la adaptación de los equipos instrumentales y sus mejoras como portabilidad, salvaguardando el principio de ensayos no destructivos (NDT).
- Otro campo de acción de la arqueometría aplicada a la conservación es la investigación de los inhibidores de corrosión sobre metales antiguos, y su efectividad con el paso de los años.
- La conservación y el mantenimiento preventivo de los metales arqueológicos pueden ser evaluados puntual y correctamente con técnicas arqueométricas.

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor gratitud al Equipo del Laboratorio de Prehistoria y Arqueología de la UAM por su inestimable ayuda en mis investigaciones sobre los metales a lo largo de estos años. De igual modo mi agradecimiento a Araceli Gabaldón y a Tomás Antelo (IPHE), Marco Ferretti (CNR), Olga Enguita, Aurelio Climent, Mª D. Ynsa (CMAM), A. Criado (UCM), a A. Luis Avila (CAM), que siempre han sido solícitos a realizar diversos análisis de metales en proceso de restauración.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. 2005: *ART'05, 8th. Int. Conference on "Non Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage.* Lecce. Mayo 2005.

ANTELO, T.; EGIDO, del M.; GABALDÓN, A.; VEGA, C. y TORRES, J. 2006: "El proyecto VARIM: Visión Artificial aplicada a la Reflectografía de Infrarrojos Mecanizada". En Barrio Martín, J. (ed.científico) *Innovación Tecnológica ern conservación y restauración de Patrimonio,* Cap. 5. Serie: Tecnología y Conservación I. Ed. UAM. Madrid: 86-99.

BARRIO MARTÍN, J. 1992: "Intervención de Conservación de Rescate Arqueológico en El Poblado Prerromano de Cuéllar". *Pátina 6,* Homenaje A. R. Amitrano Bruno: 76-90.

BARRIO MARTIN, J. 2006: "Aplicaciones científicas y propuestas tecnológicas de innovación para la conservación y restauración del Patrimonio Arqueológico Mueble". En Barrio Martin, J. (ed.) 2006: *Innovación Tecnológica en conservación y restauración del Patrimonio,* Serie Tecnología y Conservación del Patrimonio Arqueológico I. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid: 6-43.

BARRIO MARTÍN, J. (ed.) 2006: *Innovación Tecnológica en conservación y restauración del Patrimonio,* Serie Tecnología y Conservación del Patrimonio Arqueológico I. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.

BARRIO MARTÍN, J. 2007: "Innovación Tecnológica y conservación y restauración del Patrimonio Arqueológico Mueble". En Barbero Encinas, J.C. (Cood.) *Actas del II Seminario sobre Restauración de Bienes Culturales: Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación.* Sta. María de Aguilar de Campoo, 19-21 julio del 2006. Editorial. Fundación Sta. María la Real: 33-60.

BARRIO MARTÍN, J. 2007 e.p.: "Metodología para el estudio del objeto metálico: Desde la excavación al Museo". En AA.VV. *Metalistería Romana.* Santander.

BARRIO, J. y HERMANA, F. 2001: "Arqueometría y conservación de metales: el caso de los hierros de Capote". *Rev. CuPAUAM,* 25.1/1998 (2001): 35-70.

BARRIO, J. y HERMANA, F. 2005: “Procesos de estabilizacion y conservacion de materiales de hierro procedentes de la necropolis celtibérica de Numancia (Soria, España)”. En *Proceedings of The International Conference on Metal Conservation,* METAL 2001, ICOM-CC, Universidad de Chile, abril, 2001. Nattional Museum. Camberra: 13-25.

BARRIO, J.; HERMANA, F. y PARDO, A.I., 1998: "Técnicas de Conservación de Materiales Arqueológicos de Hierro en los años 60 y problemas actuales de deterioro". En *Actas del XII Congreso de Restauración y Conservación de Bienes Culturales.* Alicante: 221-243.

BARRIO, J.; CLIMENT, A.; ENGUITA, O.; PARDO, A.I.; MIGLIORI, A. y FERRETTI, M. 2005: “Aplicación de la Técnica de Haces de Iones (IBA) en la investigación para la conservación de los dorados medievales islámicos de Qalat Rabah (Calatrava la Vieja, Ciudad Real)”. *Actas del II Congreso Internacional CONSERVACION E INVESTIGACION deL Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC).* Barcelona, Noviembre del 2005: 21-32.

BARRIO, J.; ARROYO, M.; CHAMÓN, J.; PARDO, A.I. y CRIADO, A. 2006: “Laser cleaning of archaeological metal objects”. En Fort, Álvarez de Buergo, Gomez-Heras y Vázquez-Calvo (Ed.) *International Congress Heritage, Weather and Conservation.* Madrid, Junio. Edit. Tayler & Francis Group. London. Vol II: 699-706

BARRIO, J.; ARROYO, M.; PARDO, A.I. y CHAMÓN, J. 2007: “Arqueometría del deterioro de objetos de hierro de procedencia subacuática y propuesta de aplicación de nuevas tecnologías para su restauración”. En *Avances en Arqueometría 2005, Actas de VI Congreso Ibérico de Arqueometría.* Universidad de Girona, Noviembre de 2005: 123-130.

CHAMÓN, J.; BARRIO, J.; CATALÁN, E.; ARROYO, M y PARDO, A.I. 2007: “Nd:YAG laser cleaning of heavily corroded archaeological iron objects and evaluation of its effects”. En Castillejo & Moreno & Ruiz (eds.) *International Congress, LACONA VII, lasers in the conservation of artworks.* CSIC, 17-20 de Septiembre de 2007, Madrid. Book of Abstracts LACONA VII: 137.

CRIADO, A.; CANCHO, L.; RODRIGUEZ, L. M. y GARCIA, A. 1998: *Estudio metalográfico de piezas metálicas extraídas en excavaciones realizadas en Villanueva de Teba, Capote y Numancia.* Grupo de Tecnología Mecánica y Arqueometalurgia, Dpto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ciencias Químicas, UCM, Madrid. Informe Técnico Inédito.

FERRETI, M. y MOIOLI, L. 1998: “The use a portable XRF systems for preliminary composicional surveys on large bronze objetcs: A critical review after some years´ experience”, en Mourey/Robbiola (eds.) *Proceedings of the International Conference on Conservation of Metals, METAL 98,* Draguignan, Mayo 1998, James & James (Science Publishers): 39-45.

GROSS A. y WALDSCHLÄNGER U. 2005: “ARTTAX ®2nd generation: Advances in Non-Destructive µXRF Technologies”. En *Actas Art´05, 8th. Int. Conference on “Non Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage”,* Lecce, Mayo 2005, ed. CD: 80-93.

OREA, H.; GRIMALDI, D. y MAGAR, V. 2001: “La conservación de los materiales arqueológicos durante los procesos de registro, excavación y extracción”. En Schneider, R. (ed.) *Conservación in situ de materiales arqueológicos.* Editorial. INAH, México.

MONTOTO, M. 1996: “Técnicas Aplicadas a la Determinación del Estado de Conservación de Materiales Pétreos”. En López de la Orden, M.D. (Cood.) 1996: *La Conservación del Patrimonio Histórico-Artístico. Técnicas y métodos,* Actas de I Cursos de Otoño de la Universidad de Cádiz en Jerez de la Frontera, 6: 43-51.

WATKINSON, D. y NEAL, V. 1997: *First Aid for Finds.* Edt. RESCUE & UKIC. Londres.

MONITORIZACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROBIANO EN UNA TUMBA ROMANA MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

MONITORING OF MICROBIAL GROWTH IN A ROMAN TOMB BY MEANS OF REMOTE SENSING TECHNIQUES

M.A. ROGERIO CANDELERA, L. LAIZ TROBAJO, J.M. GONZÁLEZ GRAU, C. SÁIZ-JIMÉNEZ

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apartado 1052. 41080 Sevilla (España)

RESUMEN

Las tumbas de la Necrópolis Romana de Carmona experimentan diversos grados de deterioro. En su interior, el biodeterioro se manifiesta como biofilms verdes de cianobacterias y algas, así como pequeñas manchas, más localizadas, de diversos colores, de procedencia bacteriana. En el Mausoleo Circular, varias manchas violetas atribuidas a una cepa de *Streptomyces* productora de pigmentos se monitorizaron a partir de una serie multitemporal de fotografías que abarcaba desde 1997 a 2005. La aplicación de análisis de imagen basado en el Análisis de Componentes Principales permitió la detección espacial de áreas de crecimiento de las manchas, que fueron posteriormente cuantificadas. Estos resultados son básicos para la modelización del comportamiento futuro de las manchas.

ABSTRACT

The tombs of the Roman Necropolis of Carmona are affected by different deterioration processes. Biodeterioration appears as green cyanobacterial and algal biofilms, and also smaller stains from bacterial colonization. In the Circular Mausoleum several violet stains, produced by a Streptomyces *strain were monitored from a multitemporal photographic series ranging from 1997 to 2005. The utilization of image analysis based on Principal Component Analysis allowed the spatial detection of growing areas of the stains, quantified thereafter. These results are of interest for determining a growth pattern.*

Palabras clave: Necrópolis romana de Carmona, Mausoleo Circular, monitorización, Análisis de Componentes Principales, biodeterioro.

Key words: *Roman Necropolis of Carmona, Circular Mausoleum, monitoring, Principal Component Analysis, biodeterioration.*

I. INTRODUCCIÓN

La Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla) es uno de los complejos funerarios mejor conservados de la provincia romana de la Bética. Asociada a la antigua Carmo, la necrópolis tuvo su periodo de utilización más importante entre los siglos I y II de nuestra era. Descubierta casualmente en 1868 (Bonsor, 1931), año en que comenzaron las excavaciones arqueológicas, y visitable para el público general desde 1885, las distintas tumbas han experimentado diversos grados de deterioro desde su exhumación hasta nuestros días.

La mayoría de las tumbas de esta necrópolis consisten en una cámara hipogea de planta cuadrangular excavada en la roca, con varios nichos distribuidos a lo largo de los muros que servían para albergar las urnas cinerarias. El Mausoleo Circular (Figura 1) recibe este nombre por la superestructura de sillares de 11,70 m de diámetro que corona la tumba. La cámara hipogea, de planta rectangular y cubierta con bóveda de cañón, alberga un total de once nichos.

Figura 1. Situación del Mausoleo Circular en la Necrópolis Romana de Carmona.

El acceso se realiza mediante un pozo de 2,45 m de altura. La primera noticia conocida de esta tumba corresponde con su localización y el expolio de los sillares de su superestructura en 1573 (Bonsor, 1931). La entrada en la cámara sepulcral se produce en una fecha indeterminada entre los años 1879 y 1881, cuando Laureano Deza y sus colaboradores penetran por la parte posterior de la bóveda (Rada, 1888). La apertura de la entrada original se cita en 1882 y la excavación del área exterior en 1885 por G. Bonsor y J. Fernández López (Rada, 1888). El ambiente interior de la tumba es moderadamente húmedo y sin insolación directa.

El clima que afecta a la necrópolis se caracteriza por una importante oscilación térmica, que va de una media de 10,6 ºC en enero a 26,6 ºC en agosto. La media anual de precipitaciones está en 628 mm, concentradas sobre todo en otoño. Un largo período de aridez se extiende de mayo a septiembre[1].

1. ARIÑO, X. 1996: *Estudio de la colonización, distribución e interacción de líquenes, algas y cianobacterias con los materiales pétreos de los conjuntos arqueológicos de Baelo Claudia y Carmona.* Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.

En el interior de las tumbas, el biodeterioro se manifiesta visiblemente como biofilms verdes de cianobacterias y algas, así como pequeñas manchas, más localizadas, de diversos colores, atribuidas a la colonización bacteriana. Desde 1997 vienen estudiándose algunas de estas manchas de color violeta en el Mausoleo Circular, en las que se han detectado varias cepas del género *Streptomyces.* En particular, la cepa C48 se mostró en laboratorio como productora de pigmentos de idéntica coloración a la que se observa en las manchas del Mausoleo Circular (Laiz *et al.,* 2002, 2005). En estos trabajos también se detectó que las manchas iban aumentando de tamaño (Laiz *et al.,* 2005). La necesidad de contar con una estimación cuantitativa de esta progresiva colonización que permitiera prever la evolución de dichas manchas ha impulsado la realización de este trabajo. Para ello se contaba con una serie de fotografías de las distintas manchas obtenidas en varias campañas de muestreo que constituían una buena serie temporal tanto para la estimación de su crecimiento como para la detección de la dimensión espacial de éste.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se eligieron varias fotografías de manchas de color violeta del Mausoleo Circular para llevar a cabo el análisis de imagen. Éstas se seleccionaron siguiendo dos criterios diferenciados: por una parte, ser representativas de los distintos microambientes que se presumían podrían encontrarse en el interior de la cámara hipogea, y por otra parte, la disponibilidad de fotografías que abarcaran el periodo de estudio completo. Se seleccionaron, pues, manchas situadas en la zona más interior de la cámara, junto al nicho principal (área A), y manchas situadas en las jambas del vano de entrada, junto al pozo de acceso, presumiblemente más expuestas a la acción directa de los elementos (área B). Las Figuras 2 y 3 muestran respectivamente los lugares de muestreo y las manchas seleccionadas en el área A para su análisis.

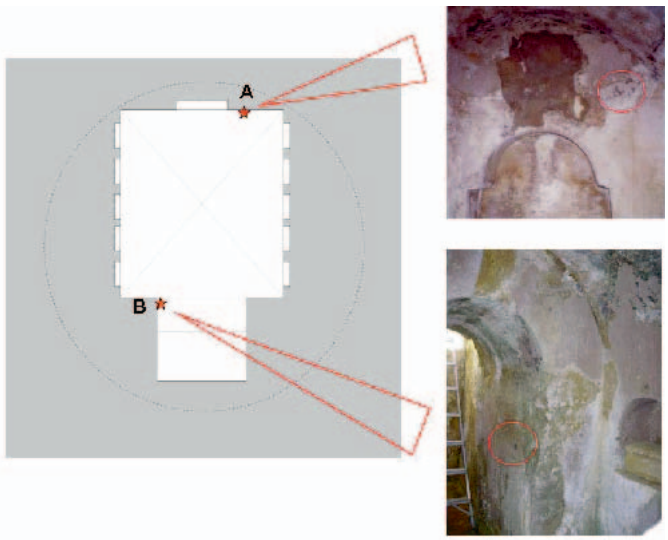


Figura 2. Esquema de los puntos de muestreo en el interior del Mausoleo Circular.

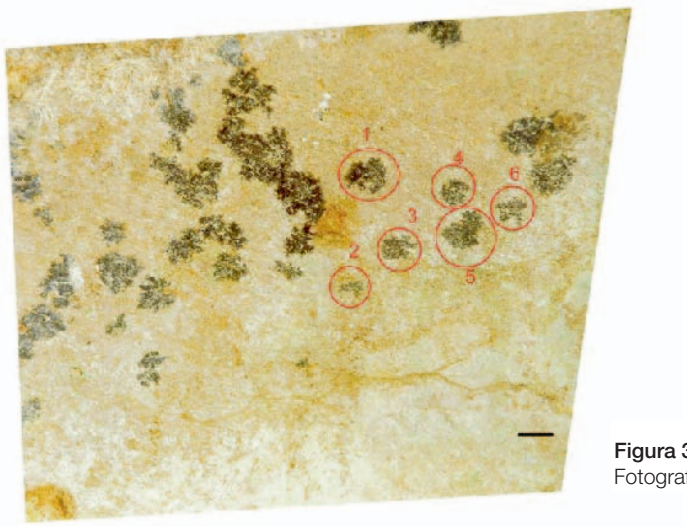


Figura 3. Manchas de origen biológico del área de muestreo “A”. Fotografía restituida. Barra = 10 mm.

Las fotografías fueron tomadas en las campañas de muestreo de 1997, 2002 y 2005, con diferentes medios técnicos. Las diferencias en el formato y la calidad de las imágenes (Tabla 1) aconsejaron un cierto grado de homogeneización geométrica y radiométrica. Debido a que el único formato disponible de algunas de las fotografías era el analógico, el primer paso consistió en su digitalización a alta resolución (2000 dpi) mediante un scanner AGFA Duoscan HiD. Las imágenes resultantes debieron ser corregidas en sus relaciones geométricas antes de efectuar el análisis de imagen.

MUESTREO	FORMATO	CALIDAD ORIGINAL
1997	diapositiva 35 mm	alta
2002	copia en papel	baja
2005	digital	media

Tabla 1. Características de las imágenes originales utilizadas en el trabajo

II.1. Correcciones geométricas y radiométricas

El escalado y la restitución geométrica de las fotografías se llevó a cabo utilizando el paquete Adobe Photoshop CS. Este software se usa ampliamente en edición de imagen, fundamentalmente con fines artísticos. Sin embargo, las posibilidades de este software para reconstruir la geometría y elaborar así ortofotografías a partir de imágenes no calibradas ha sido señalada por Mark y Billo (1999). Al tratarse de una superficie plana, las deformaciones en las imágenes son achacables directamente a las deformaciones producidas por la lente y la posición de la cámara con respecto a la pared.

Utilizando este paquete de software, la geometría y dimesiones de las imágenes de 1997 y 2002 se adaptaron a la de 2005, tomada en posición sensiblemente normal a la pared. El resultado de estas transformaciones es un archivo multicapa en formato *.psd,* en el que cada capa corresponde a uno de los estadios y una última capa añade la escala gráfica (Figura 4). En este tipo de archivos, puede efectuarse la selección del mismo número de píxels de cada capa activa. Las imágenes resultantes se exportaron como archivos TIFF.

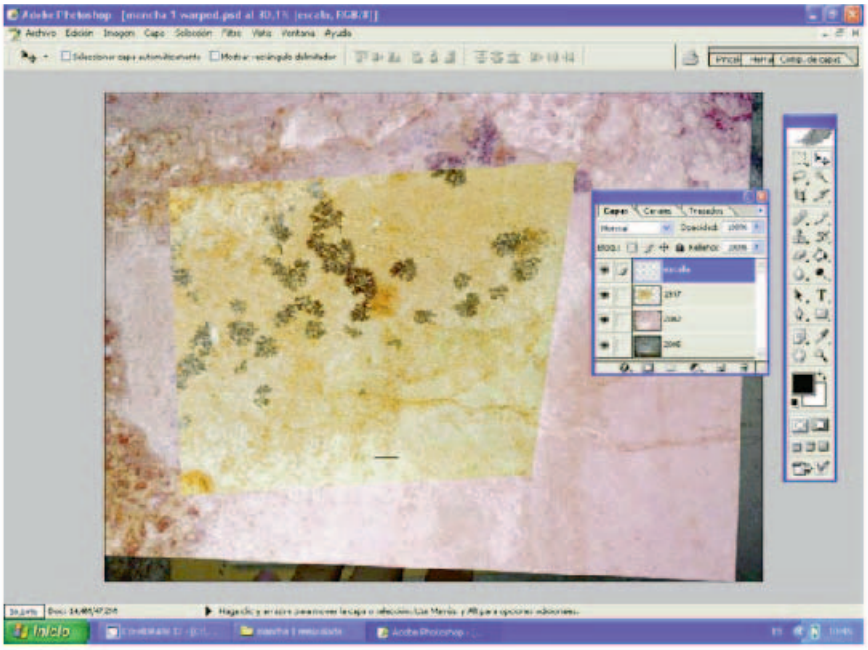


Figura 4. Archivo *.psd* multicapa con las imágenes rectificadas del área de muestreo “A”.

Para homogeneizar las características radiométricas de los archivos TIFF, se convirtieron a escala de grises asignando los mismos valores a las diferentes bandas roja, verde y azul de las imágenes originales (Figura 5). Se obtuvieron archivos cuyos diferentes tonos de gris eran directamente comparables entre sí puesto que estaban directamente relacionados con la densidad relativa de color presente en las fotografías originales.

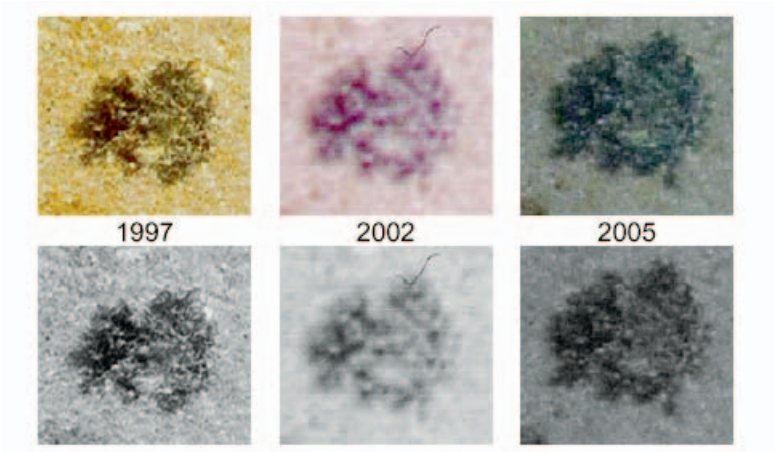


Figura 5. Imágenes originales y en escala de grises de la mancha A1 utilizadas para el análisis.

II.2. Análisis de imagen

Las imágenes en escala de grises obtenidas se utilizaron para componer cubos de imágen sintéticos de dos bandas para proceder a la comparación entre los diferentes estadios de crecimiento. Para ello y en los siguientes pasos se utilizó el software HyperCube v 8.5 (US Army Topographic Engineering Centre).

Los cubos de imagen resultantes fueron estudiados mediante análisis de Componentes Principales (PCA). Esta es una técnica de análisis multivariante muy útil para la reducción de datos y simplificación de la estructura de los mismos.

La estrategia del análisis consiste en la obtención de combinaciones lineales no correlacionadas entre sí y que van explicando porcentajes cada vez menores de variación en los datos (Martínez Arias, 1999). Las imágenes multibanda pueden entenderse como un cubo de datos (Cattell, 1952; Dillon y Goldstein, 1984) ya que para cada píxel de cada banda hay varios valores asociados: las coordenadas cartesianas y una tercera coordenada que corresponde a la reflectividad captada por el sensor en ese punto. A partir de la matriz de coeficientes de correlación entre los valores de diferentes bandas de una misma imagen pueden obtenerse nuevos ejes de referencia, perpendiculares entre sí, o lo que es lo mismo, no correlacionados (Shennan, 1992), sobre los que representar los datos.

Al aplicar esta técnica a los cubos construidos con dos bandas correspondientes a dos fechas distintas, puede discriminarse entre la información altamente correlacionada entre las dos bandas y la no correlacionada. El resultado es un nuevo cubo de imagen, también de dos bandas, que expresa en la primera banda (que corresponde con la primera Componente Principal) la información radiométrica repetida en las dos imágenes originales, y en la segunda banda (la correspondiente a la segunda Componente Principal) la información que no se repite en las imágenes originales. Estas dos bandas son asimilables al estadio inicial (banda 1) y al final (banda 2) de una secuencia multitemporal de imágenes. Este enfoque ha sido

utilizado con éxito en teledetección para el estudio de procesos con una marcada componente temporal. Una de las aplicaciones prácticas más extendidas de este enfoque es la cartografía a partir de imágenes de satélite, de la extensión de incendios forestales (Chuvieco, 2002; Heredia *et al.,* 2003).

II.3. Medición del área colonizada

Las áreas con pigmento violeta relacionadas con la colonización por un conjunto de especies entre las que se encuentra la cepa C48 de *Streptomyces,* se midieron y compararon utilizando el software ImageJ (National Institutes of Health, USA). El procedimiento utilizado consistió en la definición de un umbral para convertir las imágenes de 8 bits en binarias (Figura 6). Utilizando la función *Analize particles,* las áreas de interés para el análisis se individualizaron y midieron, obteniéndose la medida de la superficie en píxels cuadrados. Aunque esta unidad es, de hecho, adimensional, se consideró un buen enfoque para determinar el crecimiento relativo de las manchas de un estadio a otro. Los valores numéricos, por otra parte, pueden ser fácilmente convertidos a una unidad de medida con significado físico.

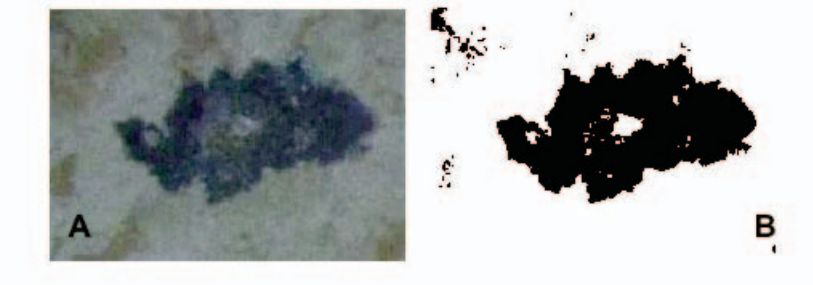


Figura 6. Medición de áreas en la mancha B1 utilizando ImageJ. A: imagen original; B: Imagen binaria base para la medición.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Componentes Principales de los diferentes cubos de imagen se calcularon por el método de la matriz de covarianzas utilizando Hypercube. La Figura 7 describe los resultados para la mancha A1.

Utilizando los métodos anteriormente descritos pudo documentarse cuantitativamente el crecimiento de las distintas manchas así como delimitarse la extensión bidimensional de este crecimiento. Continuando con el ejemplo de la mancha A1, en la Figura 8 se describe gráficamente su crecimiento durante el período de estudio. El resto de las manchas de las dos áreas de muestreo crecen con un patrón similar.

Las dos áreas, sin embargo crecen a un ritmo diferente. Así, para el área A (Tabla 2) puede calcularse una tasa de crecimiento anual cercana al 9% para el primer período (1997-2002), que decrece hasta valores cercanos al 4% en el segundo (2002-2005). En el área B, sin embargo, el crecimiento es menor: una tasa media anual de crecimiento para el primer período cercana al 4% y para el segundo en torno al 4,2%. Algunas manchas muestran incluso crecimientos menores. Así, la mancha B2 crece en torno al 2,3% en el primer período y en torno al 0,4% en el segundo.

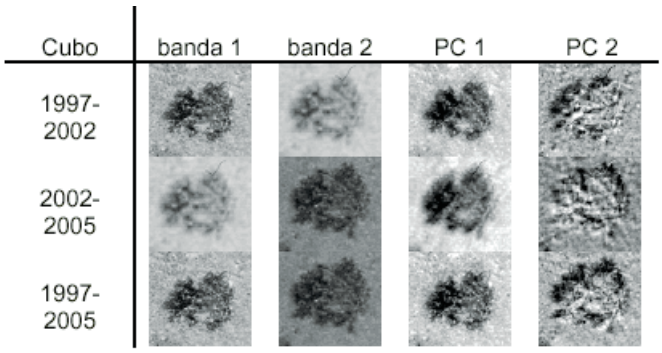


Figura 7. Bandas utilizadas en los diferentes cubos de imagen para la mancha A1 y Componentes Principales obtenidas.

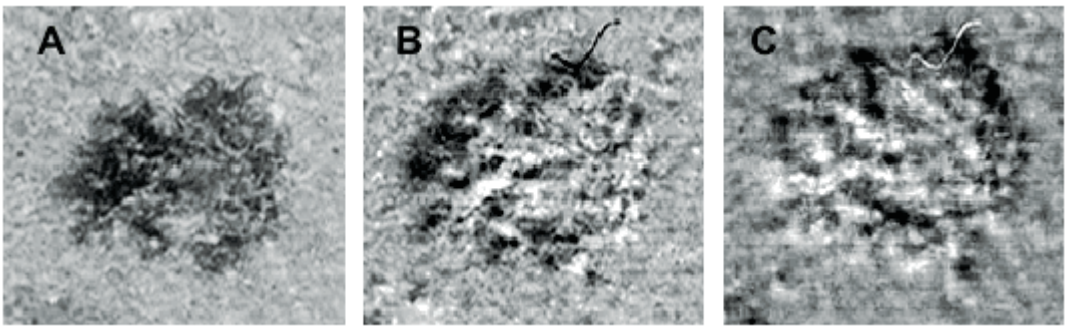


Figura 8. Evolución del crecimiento de la mancha A1 entre 1997 y 2005. El área colonizada se representa en negro y las zonas no colonizadas en diferentes niveles de gris. A. Estadio inicial (1997); B. Superficie colonizada entre 1997 y 2002; C. Colonización entre 2002 y 2005.

MANCHA	1997	2002	2005
A1	100	141,7301	155,2812
A3	100	151,8507	169,1446
A4	100	141,5502	149,3347
B1	100	130,5286	143,6067
B2	100	111,4019	112,6544

Tabla 2. Crecimiento relativo de manchas seleccionadas en el área de muestreo A. Al estadio inicial (1997) se le ha asignado un valor convencional del 100%

La diferencia entre las tasas de crecimiento de los distintos periodos podría deberse a la disponibilidad de agua. En el primero de los periodos, se contabilizan años con una precipitación en torno a la media anual, mientras que el segundo periodo fueron años con precipitaciones por debajo de la media anual (Figura 9). La diferencia entre las tasas de crecimiento de las distintas áreas estudiadas podría explicarse por la diferente aireación de las mismas, lo que incidiría en una menor humedad relativa en la zona más aireada. Estos factores son, por ahora, meramente hipotéticos y deberán complementarse con estudios a lo largo de los próximos años para aclarar las exigencias ecológicas de las especies implicadas en la colonización microbiana de las paredes del Mausoleo. Como consecuencia de esta investigación se podría sugerir un efecto directo de fenómenos relacionados con las variables climáticas sobre la conservación de las tumbas romanas estudiadas y su colonización biológica.

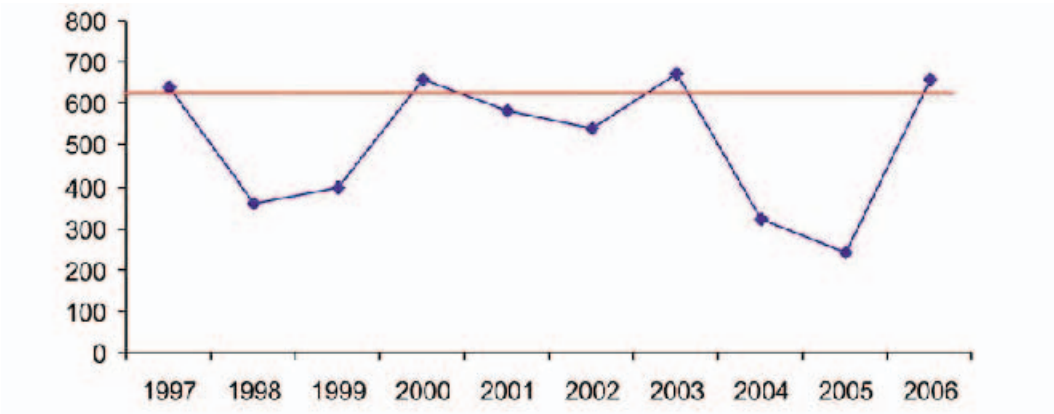


Figura 9. Precipitación total en el periodo 1997-2006. La línea roja marca la precipitación media anual (Ariño 1996, nota 1). Fuente: Instituto Nacional de Meteorología. Estación meteorológica Aeropuerto de San Pablo (Sevilla).

IV. CONCLUSIONES

La utilización de técnicas procedentes del campo de la teledetección espacial ha permitido dotar de una dimensión cuantitativa al crecimiento de diversas manchas causadas por la acción bacteriana a lo largo del período de estudio.

Los resultados obtenidos permiten apreciar dos patrones diferenciados de crecimiento coincidentes con los dos ámbitos de estudio señalados y que pueden ser debidos a factores microambientales.

Las técnicas de análisis utilizadas constituyen un medio sencillo y económico para describir procesos con componente temporal y espacial y permiten sentar las bases para la modelización de la evolución de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos P06-RNM-02318 (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía) y PIF 200540F0023 (CSIC). Los autores agradecen a la Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, las facilidades dadas para el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

BONSOR, G.E. 1931: *The archaeological sketch-book of the Roman necropolis at Carmona.* The Hispanic Society of America. New York.

CATTELL, R.B. 1952: *Factor Analysis. Harper.* New York.

CHUVIECO, E. 2002: *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio.* Ariel. Barcelona.

DILLON, W.R. y GOLDSTEIN, N. 1984: *Multivariate analysis: Methods and applications.* Wiley. New York.

HEREDIA, A.; MARTÍNEZ, S.; QUINTERO, E.; PIÑEROS, W. y CHUVIECO, E. 2003: "Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM+". *Geofocus* 3: 216-234.

LAIZ, L.; GONZÁLEZ, J.M.; JURADO, V.; HERMOSÍN, B. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2002: "Biodeterioro de las tumbas romanas de la necrópolis de Carmona (Sevilla)". En *Libro de resúmenes de la 2ª Reunión de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural "Conservación del Patrimonio y conocimiento histórico".* Madrid, 17 de diciembre de 2002. RTPHC. Madrid: 15-16.

LAIZ, L.; GONZÁLEZ, J.M.; JURADO, V.; PORTILLO, M.C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2005: "Biodeterioration of the walls of a Roman tomb by Streptomyces sp.: Eight years follow-up of microbial colonization". En A.M. García y D.A. Moreno (eds.): *13th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium. Madrid, 4-9 September, 2005. Abstracts Book.* IBBS. Madrid: 99.

MARK, R. y BILLO, E. 1999: "A stitch in time: Digital panoramas and mosaics". En S.M. Freers (ed.): *American Indian Rock Art* 25. American Rock Art Research Association. Ridgecrest (CA): 155-168.

MARTÍNEZ ARIAS, R. 1999: *El análisis multivariante en la investigación científica.* Cuadernos de Estadística 1. La Muralla/Hespérides. Madrid.

RADA y DELGADO, J.D. de la. 1888: *Necrópolis de Carmona: memoria escrita en virtud de acuerdo de las Reales Academias de la Historia y de Bellas Artes de San Fernando.* Madrid. 1885. Separata de Memorias de la Real Academia de la Historia, Tomo XI. Madrid.

SHENNAN, S. 1992: *Arqueología cuantitativa.* Crítica. Barcelona.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS EN LAS CASAS 6 Y 7 DEL ASENTAMIENTO IBÉRICO DE PUENTE TABLAS, JAÉN

PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS OF THE HOUSES 6 AND 7 OF THE IBERIAN SITE OF PUENTE TABLAS (JAÉN, SPAIN)

ALBERTO SÁNCHEZ VIZCAÍNO[1], DAVID PARRAS GUIJARRO[1],
MANUEL MONTEJO GÁMEZ[2], NATIVIDAD RAMOS MARTOS[2]

(1) Centro Andaluz de Arqueología Ibérica. Universidad de Jaén.
(2) Departamento de Química Física y Analítica. Universidad de Jaén.

RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en el asentamiento ibérico de Puente Tablas (Jaén) fruto de la aplicación de varias técnicas físico-químicas. Por medio de Microscopía Raman (MRS) se analizaron diversos materiales de construcción pertenecientes a pavimentos y revocos, y mediante Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS) se llevó a cabo un análisis de lípidos en cinco recipientes cerámicos. Los datos obtenidos han permitido la identificación de materiales de construcción tales como calcita, yeso, cuarzo y hematite, y de contenidos de origen animal y de cera de abeja en los recipientes cerámicos.

ABSTRACT

This paper presents the results obtained from application of several analytical techniques to the Iberian settlement of Puente Tablas (Jaén). Raman microscopy (MRS) was used for the analysis of building materials of floors and walls. Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) was used for the analysis of lipids found in 5 ceramic vessels. This allowed to identify building materials like calcite, gypsum, quartz and hematite. It also identified animal contents and beeswax in the ceramic vessels.

Palabras clave: Jaén, Iberos, materiales de construcción, lípidos, GC-MS, MRS.

Key words: *Jaén, Iberians, building materials, lipids, GC-MS, MRS.*

I. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

El presente trabajo se inserta en el conjunto de los estudios realizados en las casas 6 y 7 del *oppidum* ibérico de Puente Tablas (Jaén) en el marco de la campaña de excavación llevada a cabo en el año 2005. En este asentamiento se han venido realizando desde los años 80 diversas campañas de excavación en las que han quedado de manifiesto las especiales características de su registro arqueológico. Estas serían el resultado, por un lado, del abandono planificado que debió sufrir el asentamiento y que se traducen en una escasez de materiales arqueológicos y, por otro, de las fases sucesivas de ocupación que en algunos sectores han afectado de manera evidente a diversos pavimentos y estructuras. Con objeto de afrontar este problema y obtener el máximo partido de los materiales conservados, se introdujo a partir de 1990 en el diseño general de la investigación del asentamiento el análisis de indicadores químicos.

En el año 1991 se hicieron los primeros análisis en la casa 5 aprovechando que el pavimento de ésta se había conservado de manera adecuada. En aquel momento se analizó el contenido lipídico de un ánfora y se llevaron a cabo análisis de P, Mn, S, materia orgánica y lípidos para determinar y clasificar las áreas de actividad presentes en la unidad habitacional (Sánchez y Cañabate, 1998). En la campaña del año 2005 las condiciones de conservación de las casas 6 y 7 determinaron una estrategia diferente ya que las sucesivas fases de ocupación de cada una de ellas habían afectado la conservación espacial de los pavimentos y recubrimientos.

Puesto que el análisis de indicadores químicos de pavimentos para determinar áreas de actividad no era posible, el objetivo de la investigación se dirigió hacia aquellos campos de investigación que podían aportar información complementaria para la interpretación global de ambas casas:

- Estudio de materiales de construcción. En el asentamiento de Puente Tablas resulta bastante desconocido hasta el momento el tipo de materiales empleados en la elaboración de suelos, recubrimientos y otro tipo de estructuras. Este objetivo podía afrontarse en la casa 7 donde se habían conservado restos parciales de varios pavimentos y de revoco, así como una estructura rectangular E-22.
- Análisis de contenidos. En el espacio 2 de la casa 6 se documentó un conjunto de recipientes cerámicos a los que se les realizó un análisis de lípidos. Salvo en el caso individual comentado anteriormente correspondiente a un ánfora, se trata del primer conjunto cerámico analizado en este asentamiento. Este análisis de contenidos se completa con el de la citada estructura E-22 de la casa 7.

II. CONTEXTO ARQUEOLÓGICO Y MUESTREO

El *oppidum* de Puente Tablas es un asentamiento perteneciente a la cultura de los iberos con una cronología comprendida entre finales del siglo VII y finales del siglo III a. C. Su extensión es de 6 ha y se encuentra situado a dos kilómetros de la ciudad de Jaén. Las casas sometidas a estudio en este trabajo han sido las n 6 y 7 (Figura 1).

La casa 7 ocupa un espacio con unas dimensiones de 14.5 m de longitud (con orientación noroeste-sureste) por 12.5 m de anchura (con orientación suroeste-noreste). Se trata de un espacio que sufre fuertes reestructuraciones que conllevan varias sucesiones de estructuras, adosamientos e, incluso, diferentes recrecimientos del nivel de pavimentación y uso.

Tiene su primera fase de ocupación en el siglo V a.C., al cual pertenece el primer pavimento de color rojo muestreado en el espacio B2, y a ella le siguen tres fases más entre el siglo IV y III a.C. a las que pertenecen las tres muestras restantes correspondientes a un pavimento blanco, un revoco y la estructura E22.

La recogida de muestras para el análisis de materiales quedó supeditada a aquellas zonas de la casa donde se habían conservado restos significativos y la cantidad osciló entre los 25 y los 100 g (Tabla 1).

Muestra	Tipo	Color	Cronología	Espacio
1	pavimento	blanco	IV a. C.	B1
2	pavimento	rojo	V a. C.	B2
3	revoco	blanco	IV a. C.	B1
4	estructura E22	blanco	IV-III a. C.	C

Tabla 1. Muestras tomadas en la casa 6.

Por su parte la casa 6, que comparte el muro este con la casa 7, tiene una longitud similar pero una anchura de sólo 9 m y fue parcialmente excavada en 1990. Presenta cuatros fases de ocupación de época ibérica comprendidas entre el siglo V y el siglo III a.C. Es a la segunda fase perteneciente a la primera mitad del siglo IV a.C. a la que pertenece el conjunto cerámico analizado. En este momento, como se muestra en la figura 1, la casa está estructurada en dos espacios: el espacio 1, semicubierto y ocupado por una zona de horno de acuerdo con los datos obtenidos en la campaña de de excavación de 1990, y el espacio 2 estructurado en torno a un hogar y una fosa a modo de silo de almacenaje. De este espacio se seleccionaron cinco recipientes cerámicos, cantidad que corresponde al número mínimo de contenedores identificados, evitando de esta manera la selección de fragmentos del mismo recipiente. De cada uno de los recipientes se tomó un fragmento de unos 5 g, que tras ser limpiado eliminando toda la superficie en contacto con el sedimento en el cual se hallaban enterrados, fue reducido a polvo empleando un mortero de ágata.

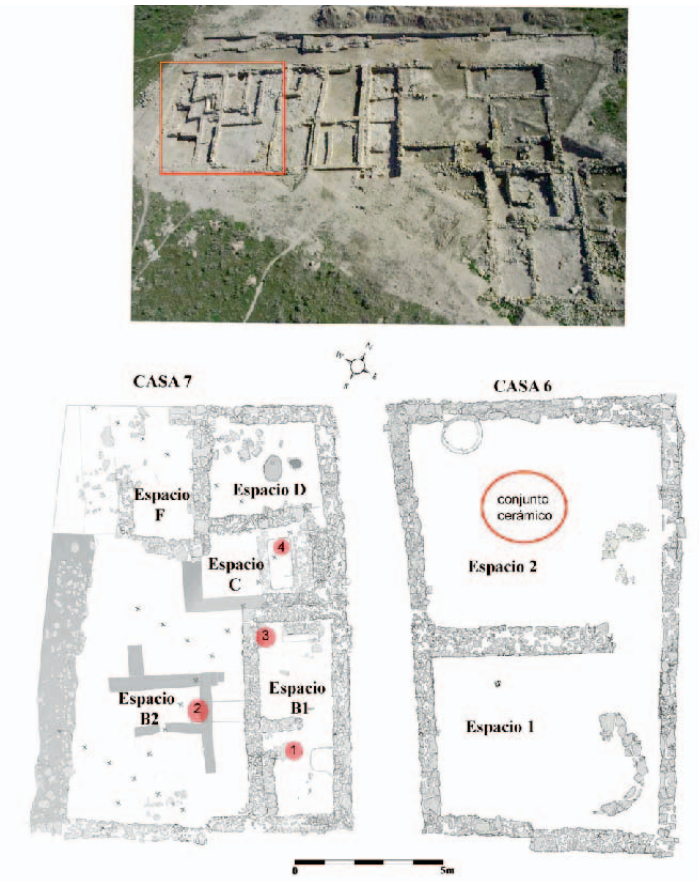


Figura 1. Vista aérea parcial de Puente Tablas (Jaén) con las casas estudiadas. Casas 6 y 7 y localización de las muestras y materiales cerámicos analizados.

III. METODOLOGÍA

Análisis Raman (MRS)

Como paso previo a la adquisición espectral las muestras fueron cuidadosamente limpiadas para eliminar posibles restos de tierra, no llevándose a cabo ningún tratamiento adicional. El análisis Raman se realizó utilizando un Espectrómetro Renishaw Raman "in Vía" Reflex acoplado a un microscopio confocal Leika DM LM y a un detector CCD refrigerado por sistema Peltier (-70 C). Como fuente de excitación se empleo un láser de Ar de 514.5 nm (Laser Physics, modelo 23S514) con una resolución espectral mejor que 1 cm^{-1}. El rango espectral fue de 200-2000 cm^{-1}. La potencia del láser osciló, según las muestras, entre 1.25 y 18.75 mW, realizándose de 1 a 20 acumulaciones para obtener una buena relación señal-ruido. La medición se realizó directamente sobre la muestra sin ningún tipo de preparación previa (Parras *et al.,* 2006; Sánchez *et al.,* 2007).

La identificación de los recubrimientos y pigmentos se efectuó a partir de la consulta y comparación de los espectros obtenidos con los publicados en otros trabajos de referencia (Bell *et al.,* 1997; Burgio y Clark, 2001; Bouchard y Smith, 2003) y mediante la consulta de la base de datos *Thermo Spectral ID database.*

Análisis por Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS)

Una vez pulverizada la muestra se toman 2 g de muestra y se le añaden 10 µL de tetretriacontano (patrón interno) y 10 mL de una mezcla de cloroformo:metanol ($CHCl_3$:CH_3OH) en proporción 2:1. La mezcla se somete a extracción asistida por ultrasonidos durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo la mezcla se centrifuga durante 5 minutos a 3500 ó 4000 rpm. Una vez que se ha recogido el sobrenadante, donde se encuentran disueltos los lípidos, se repite la operación con los restos de cerámica de la mezcla. Se unen las dos fracciones de sobrenadante resultantes en las dos repeticiones, evaporándose el disolvente hasta sequedad bajo corriente de N_2.

El extracto seco se redisuelve en 500 µL de cloroformo de los cuales se toman 100 µL que, tras su evaporación en corriente de N_2, se derivatizan utilizando 20 µL de N,O-bis-(trimetilsilil)trifluoroacetamida que contiene 1% de trimetilclorosilano (TMCS). La reacción tiene lugar durante 30 minutos a una temperatura de 70ºC. Completada la reacción la muestra se deja enfriar y sometiéndose a evaporación bajo corriente de N_2 hasta sequedad, redisolviendo para finalizar en 50 µL de ciclohexano (C_6H_{12}), de los que se toma 1 µL para su inyección en GC-MS.

El modelo del cromatógrafo de gases empleado fue un HP 5890 Series II, y el espectrómetro de masas un HP 5889 B. Las condiciones cromatográficas fueron: temperatura del inyector 350ºC, temperatura de la interfase 350ºC, temperatura inicial del horno 50ºC durante 2 minutos, alcanzando 350ºC a razón de 10ºC/minuto, manteniéndose al final el horno a esta temperatura durante 10 minutos. Las condiciones para la detección en el espectrómetro de masas fueron: temperatura de la interfase: 350ºC, energía de los electrones de 70 eV y la temperatura de la fuente de ionización: 250ºC-300ºC-350ºC.

IV. RESULTADOS

Materiales de construcción

Los análisis realizados mediante microscopía Raman en la muestra 1 de suelo de la casa 7 muestran los espectros característicos de los tres minerales utilizados en la fabricación de este pavimento (Figura 2):

- Yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), con sus bandas características localizadas en: 417, 495, 622, 674, y 1139 cm^{-1}.
- Calcita ($CaCO_3$), cuyas bandas distintivas son: 275, 712 y 1087 cm^{-1}.
- Cuarzo (SiO_2), identificado por la presencia de la banda que aparece a 468 cm^{-1}, y cuyo origen debe ser puesto en relación con la arena que se utiliza como árido en la elaboración de estos tipos de suelos (Burgio y Clark, 2001; David *et al.,* 2001).

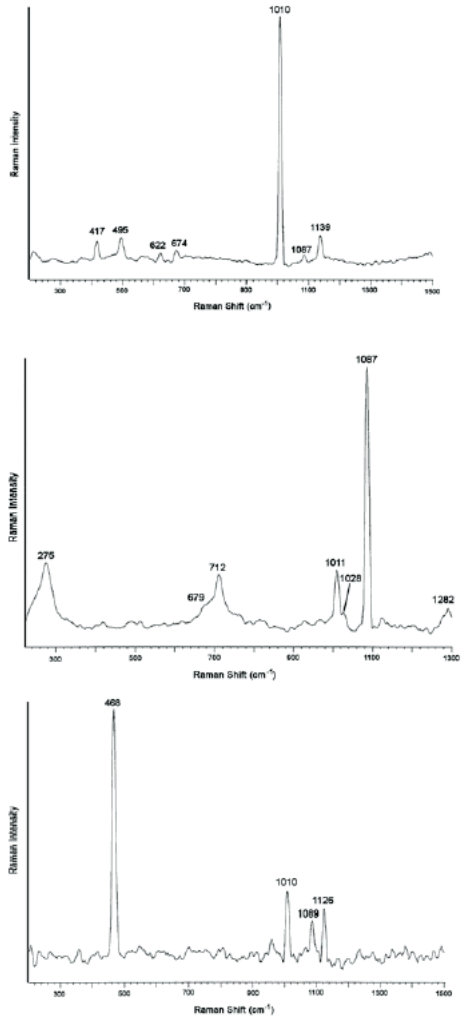


Figura 2. Espectros Raman de la muestra 1 mostrando las bandas del yeso, calcita y cuarzo respectivamente.

La muestra 2 corresponde a un nivel de ocupación diferente datado en el siglo V a.C. y en ella el componente mineral fundamental para conferirle el color rojo fue la hematite, tal y como se observa por la aparición de las bandas características de este mineral: 222.5, 242, 289, 407, 442, 609, 655 y 1318 cm^{-1} (Figura 3). Este mineral se aplicó como colorante a una base compuesta por calcita y yeso con bandas similares a las anteriormente descritas en la muestra 1.

En contraste con los materiales empleados en la muestra 1, la muestra 3 procedente del revoco de la pared de la casa 7 tan sólo presenta el yeso como materia prima única empleada en su elaboración.

Es evidente que su aplicación como recubrimiento de la pared, al menos en el espacio B1, no exigía de la presencia de materiales que endurecieran la mezcla haciéndola ganar resistencia como sería el caso del pavimento.

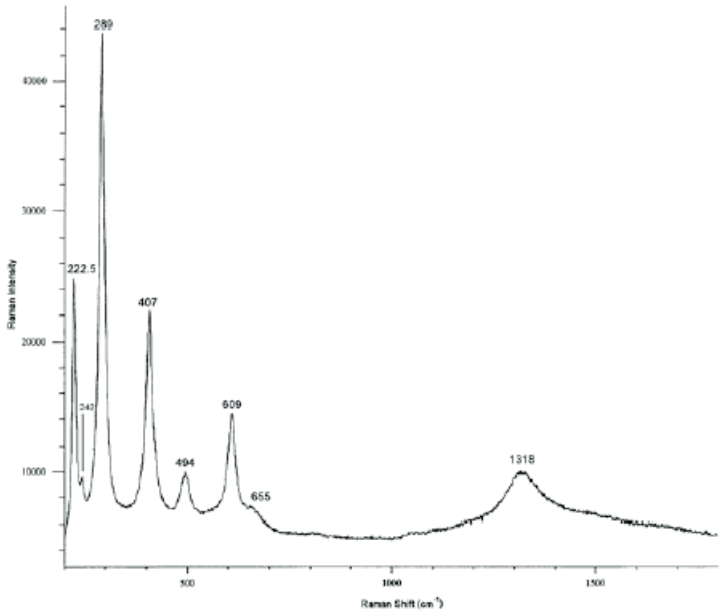


Figura 3. Espectro Raman de la muestra 2 mostrando las bandas de la hematite.

Contenidos

Los análisis practicados a los cinco recipientes del espacio A de la casa 6 fueron positivos en dos de ellos: una olla de cocción reductora (nº 6103-2), y una base de pasta oxidante de forma indeterminada (nº 6103-4) (Figura 4).

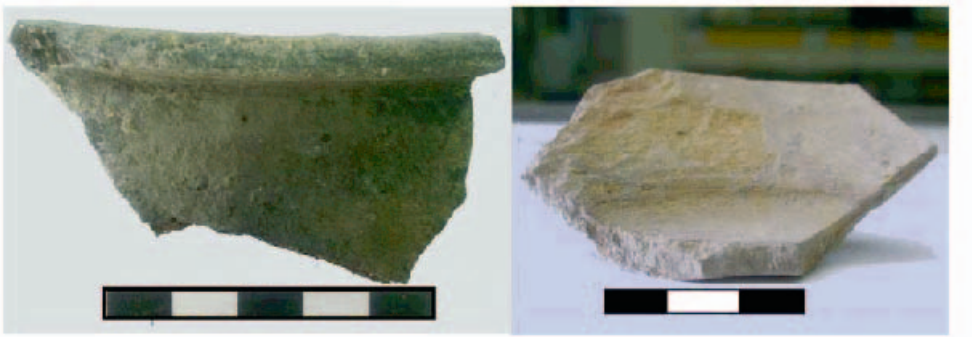


Figura 4. Izquierda: recipiente 6103-2. Derecha: recipiente 6103-4.

En el caso de la olla el perfil cromatográfico obtenido está dominado por los ácidos grasos palmítico C16:0 y esteárico C18:0 y en menor medida por oléico C18:1 los cuales, en conjunción con los mono-, di- y triacilglicelores de ácidos palmítico y esteárico (MAG, DAG y TAG) son indicativos de una grasa animal degradada (Copley *et al.,* 2005).

Por su parte la base del recipiente 6103-4 mostró un perfil típico de las ceras de abeja: ésteres de ceras derivados del ácido palmítico (C40, C42, C44, C46, C48), alcanos (n25, n27, n29) y alcoholes grasos de

cadena larga C24(OH), C26(OH), C28(OH) y C30(OH) procedentes de la hidrólisis de los ésteres de ceras (Figura 5). La aparición de estos tres indicadores en mayor o menor grado de descomposición es sin duda alguna la mejor prueba de la presencia de la cera de abeja.

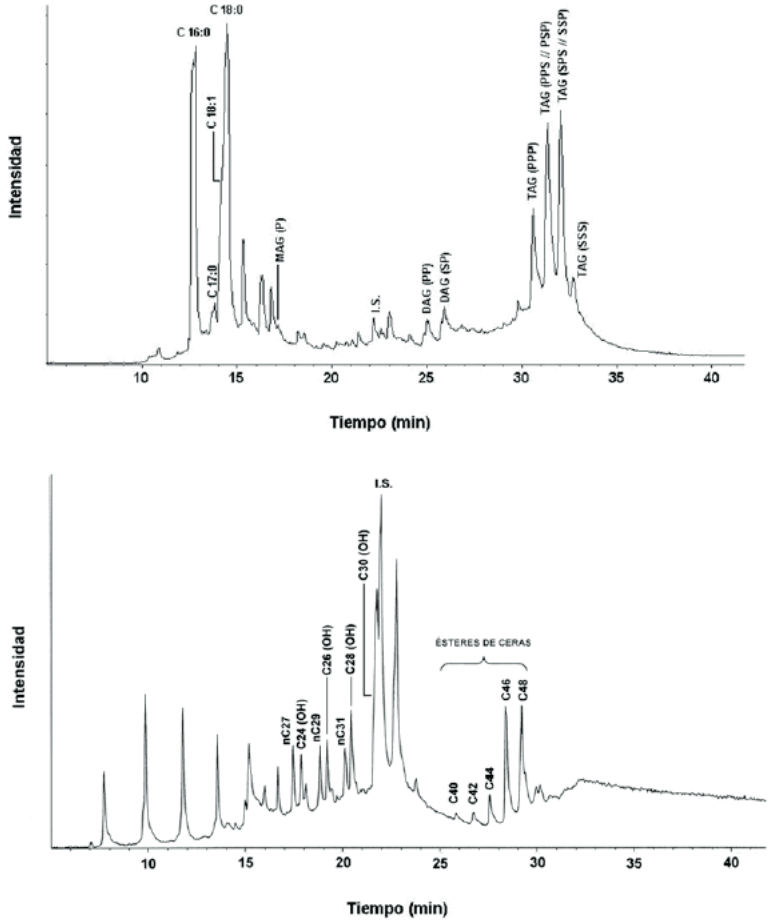


Figura 5. Arriba: Cromatograma del recipiente 6103-2. Abajo: Cromatograma del recipiente 6103-4.

Finalmente se incluye aquí el análisis de la E-22 de la casa 7 porque el estudio llevado a cabo en ella tenía como objetivo final el conocer su contenido. Los datos aportados por el análisis conjunto por MRS y GC-MS muestran unos resultados que deben ser leídos en negativo. Desde el punto de vista del material empleado en su elaboración los resultados del análisis Raman son categóricos: sólo se empleo yeso (bandas 417, 495, 622, 674, y 1139 cm^{-1}).

Por su parte, el análisis de lípidos llevado a cabo por CG-MS no identificó contenido graso alguno. Teniendo en cuenta ambos datos es posible plantear que el citado contenedor no debió contener líquidos dado que estos habrían disuelto progresivamente el yeso. Tampoco es probable un contenido graso si tiene en cuenta la ausencia de lípidos como contenido o como impermeabilizante de las paredes. Un contenido sólido parece entonces probable aunque la flotación del sedimento al interior de la estructura fue también negativa hecho este que limitaría también el tipo de producto contenido (Figura 6).

Figura 6. Estructura E-22

V. CONCLUSIONES

En primer lugar los análisis llevados a cabo han posibilitado el conocimiento sobre los materiales empleados en la elaboración de diferentes suelos y recubrimientos, elemento este importante no sólo para las propuestas futuras de restauración sino para la interpretación global del asentamiento. Las anteriores campañas de excavación en el *oppidum* de Puente Tablas habían puesto de manifiesto la existencia de diferentes tipos de pavimentos: enlosados realizados en tierra batida, enlucidos con recubrimientos blancos. En este último caso los materiales empleados en su elaboración nunca habían sido especificados de manera precisa. Los datos obtenidos en este trabajo han permitido una primera valoración de los materiales empleados (calcita, yeso y cuarzo) y su diferenciación de aquellos empleados en el revoco (yeso). De igual manera, la excavación de la casa 7 permitió identificar en un pequeño sector la presencia de un pavimento de color rojo de una fase anterior muy poco habitual en el asentamiento y elaborado empleando hematite, calcio y yeso.

La casa 7 parece configurarse entonces como un espacio posiblemente diferenciado del resto de unidades habitacionales desde el siglo V a.C. Varios elementos apoyan esta primera aproximación: mayor superficie, mayor complejidad, existencia de una fosa ritual, pavimentos elaborados y diferenciados, presencia de revoco en la pared y aparición de un tipo de contenedor (estructura E22) ausente en otras unidades habitacionales.

Un segundo tipo de conclusiones proceden de los análisis de contenidos del conjunto cerámico de la casa 6. Mientras que en el espacio 1, excavado en 1990, se identificó lo que podría ser un espacio para la producción cerámica, el espacio 2 parece desarrollar una función más doméstica si se tiene en cuenta la presencia de un hogar, una especie de silo de almacenaje y la acumulación de los restos cerámicos analizados. Junto a la presencia de grasas animales en una de las ollas analizadas quizás el dato más interesante sea la identificación de cera de abeja. Se ha propuesto en algunos casos de una manera oscura, poco fundamentada y sobre bases científicas poco sólidas su relación directa con la miel e hidromiel (Juan-Tresserras, 2006; Guerra, 2006), pero lo cierto es que la presencia de cera de abeja en el interior de recipientes puede ser valorada de tres maneras: como el contenido mismo, como recubrimiento interno aislante y en relación a la presencia de miel.

La aparición de la cera de abeja, con independencia de relación más o menos directa con la miel, plantea la valoración sobre el conocimiento y la relevancia adquirida por los productos producidos por las abejas en época ibérica en el Alto Guadalquivir. Mientras en otras áreas de la cultura ibérica se han localizado con cierta frecuencia contenedores relacionados con el almacenaje de la miel y colmenas cerámicas (Bonet y Mata, 1995; Soria, 2000; Morais, 2006), en el ámbito de Alto Guadalquivir han sido muy raros los casos en los que se han identificado recipientes mielíferos (algunos casos en Giribaile y un caso de Toya) y no se han identificado los restos de colmenas fabricadas en cerámica.

El análisis de indicadores químicos ha demostrado ser una herramienta eficaz en la identificación de ceras de abeja en materiales cerámicos de otras áreas y cronologías diferentes (Sánchez y Cañabate, 1997; Evershed y Dudd, 2003; Copley *et al.,* 2005). Gracias a su empleo, es posible verificar ahora que al menos en el siglo IV a.C. se explotaban los productos de las abejas en el *oppidum* de Puente Tablas, uniéndose este dato al ya conocido del contexto de almacén del Santuario de El Pajarillo también con una cronología del siglo IV a.C. (Sánchez y Cañabate, 1999). Si todo lo anterior, incluyendo los escasos hallazgos arqueológicos, puede conducir a la existencia de una autentica apicultura en el Alto Guadalquivir en el siglo IV-III a.C. es algo que todavía necesitaría más pruebas en cantidad y calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo de investigación desean agradecer a los Servicios Técnicos de la Universidad de Jaén la ayuda prestada. También deseamos expresar nuestro agradecimiento a Carmen Rueda y Carmen Ortega.

BIBLIOGRAFÍA

BELL, M.; CLARK, R.J. y GIBBS, P.J. 1997: "Raman spectroscopy library of natural and synthetic pigments (pre-approx. 1850 AD)". *Spectrochimica Acta,* Part A, 53A: 2159-2179.

BONET, H. y MATA, C. 1995: "Testimonios de apicultura en época ibérica". *Verdolay* 7: 191-269.

BURGIO, L. y CLARK, R.J.H. 2001: "Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation". *Spectrochimica Acta,* Part A, 57A: 1491-1521.

BOUCHARD, M. y SMITH, D.C. 2003: "Catalogue of 45 reference Raman spectra of minerals concerning research in art history or archaeology, especially on corroded metals and coloured glass". *Spectrochimica Acta,* Part A, 59A: 2247-2266.

COPLEY, M.S.; BERSTAN, R.; DUDD, S.N.; STRAKER, V.; PAYNE, S. y EVERSHED, R.P. 2005: "Dairying in Antiquity. I. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Iron Age". *Journal of Archaeological Science* 32: 485-503.

DAVID, R.A.; EDWARDS, H.G.M.; FARWELL, D.W. y DE FARIA, D.L.A. 2001: "Raman spectroscopic analysis of ancient Egyptian pigment". *Archaeometry* 43 (4): 461-473.

EVERSHED, R.P. y DUDD, S.N. 2003: "New chemical evidence for the use of combed ware pottery vessels as beehives in Ancient Greece". *Journal of Archaeological Science* 30: 1-12.

GUERRA, E. 2006: "Sobre la funcion y el significado de la cerámica campaniforme a la luz de los análisis de contenidos". *Trabajos de Prehistoria* 63 (1): 69-84.

JUAN-TRESSERRAS, J. 2006: "Anejo III. Análisis arqueobotánico (fitolitos, almidones y fibras) y de residuos orgánicos". En P. Moret, J.A. Benavente y A. Gorgues 2006: *Iberos del Matarraña. Investigaciones arqueológicas en Valdeltorno, Calaceite, Cretas y La Fresneda (Teruel).* Al-Qanni 11. Taller de Arqueología de Alcañiz y Casa de Velásquez. Teruel: 287-291

MORAIS, R. 2006: "Potes meleiros e colmeias em cerâmica: uma tradiçao milenar". *Saguntum* (P.l.a.v.), 38: 149-161.

PARRAS-GUIJARRO, D.; MONTEJO-GÁMEZ, M.; RAMOS-MARTOS, N. y SÁNCHEZ, A. 2006: "Analysis of Pigments and Coverings by X-Ray Diffraction (XRD), and Micro Raman Spectroscopy (MRS) in the Cemetery of Tutugi (Galera, Granada, Spain) and the Settlement Convento 2 (Montemayor, Córdoba, Spain)". *Spectrochimica. Acta, Part A,* 64: 1133-1141.

SÁNCHEZ, A. y CAÑABATE, M.L. 1997: "Identificación de grasas y ésteres de ceras en recipientes arqueológicos". *Cesaraugusta* 73: 319-325.

SÁNCHEZ, A. y CAÑABATE, M.L. 1998: *Indicadores químicos para la Arqueología.* Universidad de Jaén. Jaén.

SÁNCHEZ, A. y CAÑABATE, M.L. 1999: “Identification of activity areas by soil phosphorus analysis in two rooms of the Iberians Sanctuary 'Cerro El Pajarillo”. *Geoarchaeology* 14 (1): 47-62.

SÁNCHEZ, A; PARRAS-GUIJARRO, D.; MONTEJO-GÁMEZ, M. y RAMOS-MARTOS, N. 2007: “Microscopía Raman en dos contextos arqueológicos de época orientalizante e ibérica”. *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría:* 175-182

SORIA, L. 2000: “Evidencias de producción de miel la comarca del Júcar (Albacete) en época ibérica”. *Saguntum* Extra-3: 175-177.

ESTUDIO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LA COLECCIÓN DE SELLOS DE PLOMO DEL AYUNTAMIENTO DE SEVILLA

STUDY OF THE DEGRADATION PROCCESS OF THE LEAD SEALS COLLECTION OF THE CITY HALL OF SEVILLE

ADRIÁN DURÁN BENITO[1,2*], Mª CARMEN JIMÉNEZ DE HARO[2], ÁNGEL JAVIER JUSTO ERBEZ[2], LIZ KAREN HERRERA QUINTERO[2], Mª LUISA FRANQUELO ZOFFMANN[2].

(1) European Radiation Synchrotron Facility. Rue Jules Horowitz, 6 – B.P.220. F-38043, Grenoble CEDEX. France.
(2) Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla). Avda. Américo Vespucio, s/n. Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla.
*corresponding author: adrian@icmse.csic.es

RESUMEN

El Ayuntamiento de Sevilla tiene una colección de sellos de plomo de gran importancia histórico-artística, almacenada en compartimentos fabricados en cartón, colocados en cajones de madera. Se han caracterizado tanto los sellos como los productos de alteración derivados de los mismos, empleando para ello microscopía óptica, espectroscopía de infrarrojos y difracción de rayos X con cristales Göbel. Los resultados indican la presencia de carbonatos de plomo (cerusita e hidrocerusita), responsables de la herrumbre blanca y polvorienta detectada en la superficie de los sellos de plomo. La procedencia de estos compuestos se encuentra en la hidrólisis de la celulosa deteriorada que forma el cartón del embalaje y que produce ácidos carboxílicos que reaccionan con los óxidos superficiales del plomo.

ABSTRACT

The City Hall of Seville has a collection of lead seals of a great historical and artistic importance, stored in compartments made of pasteboard, placed in wooden drawers. Both the seals and their products of alteration have been characterized using optical microscopy, infrared spectroscopy and X-ray diffraction with Göbel mirrors. The results show the presence of lead carbonates, responsible for the white and dusty rust detected in the surface of the lead seals. The origin of these compounds is in the hydrolisis of the deteriorated cellulose that forms the pasteboard of the packing, which produces carboxilic acids that react with the superficial lead oxides of the seals.

Palabras clave: sellos, plomo, almacenamiento, cristales Göbel, hidrólisis, celulosa, siglos XIII-XV, Ayuntamiento de Sevilla.

Key words: *seals, lead, storing, Göbel mirrors, hydrolisis, cellulose, 13h-15th century, Seville City Hall.*

I. INTRODUCCIÓN

Además de la cera se han utilizado ciertos metales para sellar. El sello de plomo se prefirió al de cera en privilegios y concesiones de carácter permanente por su mayor durabilidad.

El sello de plomo, denominado también bula, se convirtió en el sello característico de la cancillería pontificia. Los reyes de Castilla lo utilizaron desde el último cuarto del siglo XII, y posteriormente, también los de León y de Aragón. No se conocía, sin embargo, en la cancillería navarra. Se imprimían con unas tenazas que llevaban el tipo en sus extremos (web Ministerio de Cultura).

Durante muchos años, los humanos han usado metales para crear tanto instrumentos útiles como artísticos (Dunkle, 2002). La mayoría de los objetos metálicos sufren procesos de corrosión a lo largo del tiempo, principalmente debido a procesos de oxidación con el aire. Los productos de corrosión son, normalmente, óxidos, hidróxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos, dependiendo del metal y de las condiciones ambientales.

Las aleaciones de plomo fueron muy usadas en la antigüedad, sobre todo en la red de cañerías y en la fabricación de monedas y sellos. El plomo es un elemento muy reactivo y forma, en función de las condiciones ambientales en que se encuentre, compuestos como anglesita ($PbSO_4$), cerusita ($PbCO_3$), hidrocerusita ($Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$) o plumbonacrita ($Pb_5O(OH)_2(CO_3)_3$). La presencia de carbonatos de plomo es responsable de la herrumbre blanca y polvorienta que puede localizarse en la superficie del metal en forma de hoyos (Rocca *et al.,* 2004:653-665).

Los ácidos fórmico, propiónico, acético, y otros ácidos carboxílicos, formados a partir de la hidrólisis y oxidación de los compuestos de celulosa que forman los cartones y la madera usada para guardar objetos de plomo, pueden provocar graves procesos de corrosión en los metales, llegando incluso a destruir su estructura completa (Tetrault, 1992; Tennent *et al.,* 1993; Degrigny *et al.,* 1986:865-870).

Para la protección de obras de arte hechas en plomo, sólo unos pocos inhibidores han sido probados, incluyendo compuestos con aniones cromatos y fosfatos, o aminas, pero su uso en museos resulta complicado para los conservadores y no se han generalizado (Awad y Elhady, 1969: 79; Awad *et al.,* 1972: 431; Badawy *et al.,* 1990: 978).

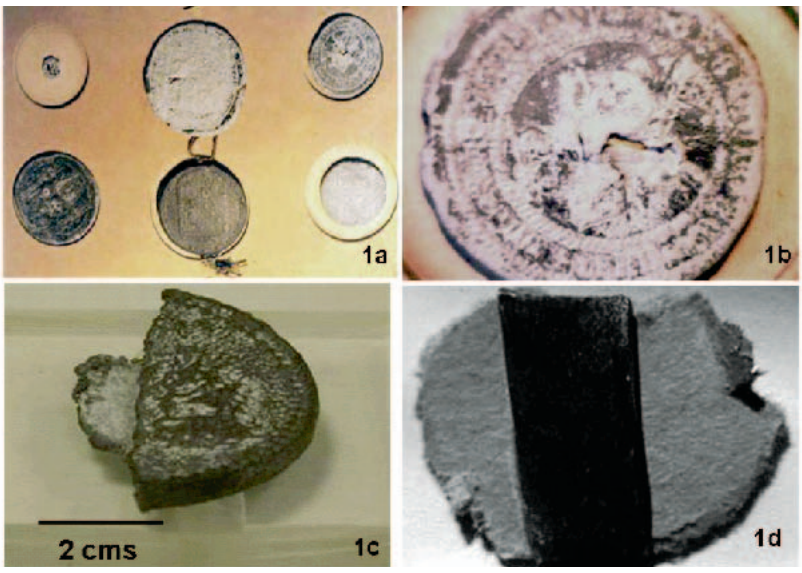


Figura 1. Fotografías correspondientes a: (a) colección de sellos de plomo del Ayuntamiento de Sevilla; (b) sello seleccionado para el estudio, debido a su alto deterioro; (c) montaje experimental para el estudio superficial del sello de plomo, para el empleo de difracción de rayos X con cristales Göbel; (d) montaje experimental consistente en un trozo de metal de plomo cubierto con una lámina de cartón.

Otros estudios han indicado el gran poder inhibidor de las cadenas alifáticas monocarboxílicas de fórmula general $CH_3(CH_2)_{n-2}$-COO^- (6<n<11) en el caso de procesos de corrosión de metales como cobre, zinc, hierro, magnesio y plomo. Estos compuestos no son tóxicos y son derivados de ácidos grasos extraídos de aceites vegetales (Rocca *et al.,* 2004: 653-665; Rapin *et al.,* 1996: 719; Daloz *et al.,* 1998: 440).

El Ayuntamiento de Sevilla tiene una colección de sellos de plomo de gran importancia histórico-artística, datada entre los siglos XIII-XV, y almacenada en compartimentos fabricados en cartón, y colocados en cajones de madera. El estudio de los procesos de degradación que han sufrido los sellos que forman parte de la colección es fundamental para poner a punto un método de almacenamiento adecuado que evite estos procesos.

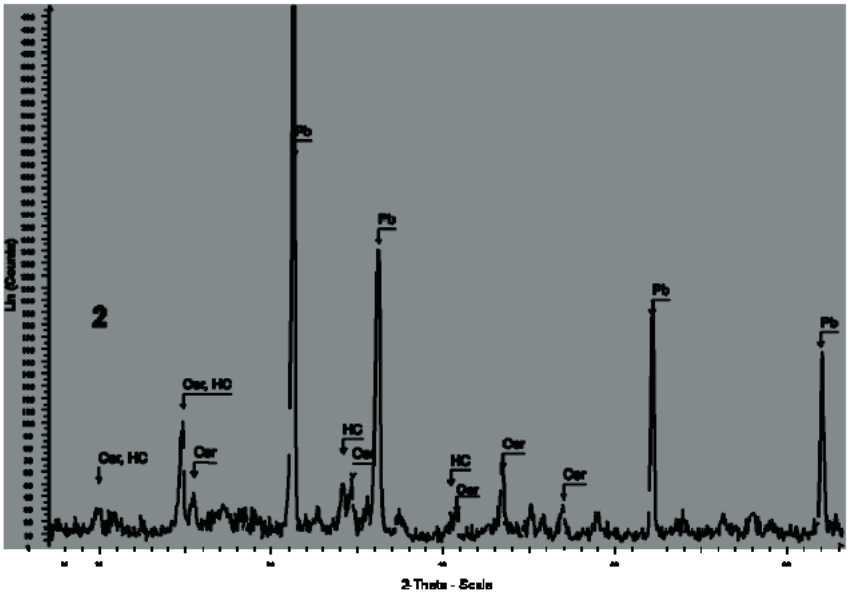


Figura 2. Diagrama de difracción de rayos X, empleando cristales Göbel, de la parte superficial del sello de plomo alterado, que muestra la presencia de plomo (Pb), hidrocerusita ($Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$) (HC) y cerusita ($PbCO_3$) (Cer).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La colección de sellos de plomo estudiada está formada por un total de doce sellos (Figura 1a); de entre todos ellos, fueron seleccionados dos, debido al mayor grado de deterioro que manifestaban (Figura 1b).

Se han caracterizado tanto los sellos como los productos de alteración formados en la superficie de los mismos. En todos los casos, se han estudiado las muestras mediante microscopia óptica y electrónica (microscopio óptico Nikon con objetivos x25, x50, x100 y x200) (microscopios electrónicos de barrido HITACHI S-4800 y JEOL JSM-5400 con analizador elemental por energías dispersivas de rayos X Link Oxford incorporado), espectroscopia de infrarrojos en modo reflexión (espectrómetro Nicolet 510 y detector DTGS con microscopio incorporado) y difracción de rayos X (difractómetro con ángulo rasante Siemens D5000 con monocromador de LiF en el haz difractado y rendijas soller largas de 0.4º, y equipado con cristales Göbel, que permiten el estudio superficial no-destructivo de muestras).

En el laboratorio, se hicieron diferentes ensayos para determinar la incidencia del embalaje (cartones) y del medio ambiente (temperatura y humedad relativa) sobre la colección de sellos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La alteración detectada en los sellos de plomo de la colección del Ayuntamiento de Sevilla era evidente. Los sellos habían perdido no sólo el relieve superficial sino además parte del propio plomo componente de la masa de los mismos, debido a un progresivo proceso de corrosión (Figura 1b).

El diagrama de difracción de rayos X realizado usando cristales Göbel (Figura 1c) de la superficie de los sellos muestra la presencia de plomo (Pb), hidrocerusita ($Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$) (HC) y cerusita ($PbCO_3$) (Cer), productos éstos últimos responsables de la herrumbre blanca y polvorienta detectada (Figura 2).

Se extrajo una pequeña cantidad de polvo empleando bisturí, que fue estudiado por espectroscopia de infrarrojos. El espectro realizado muestra las bandas características de grupos carbonatos (1420 cm^{-1}, 1448 cm^{-1}, 873 cm^{-1}, 1786 cm^{-1}) (Figura 3).

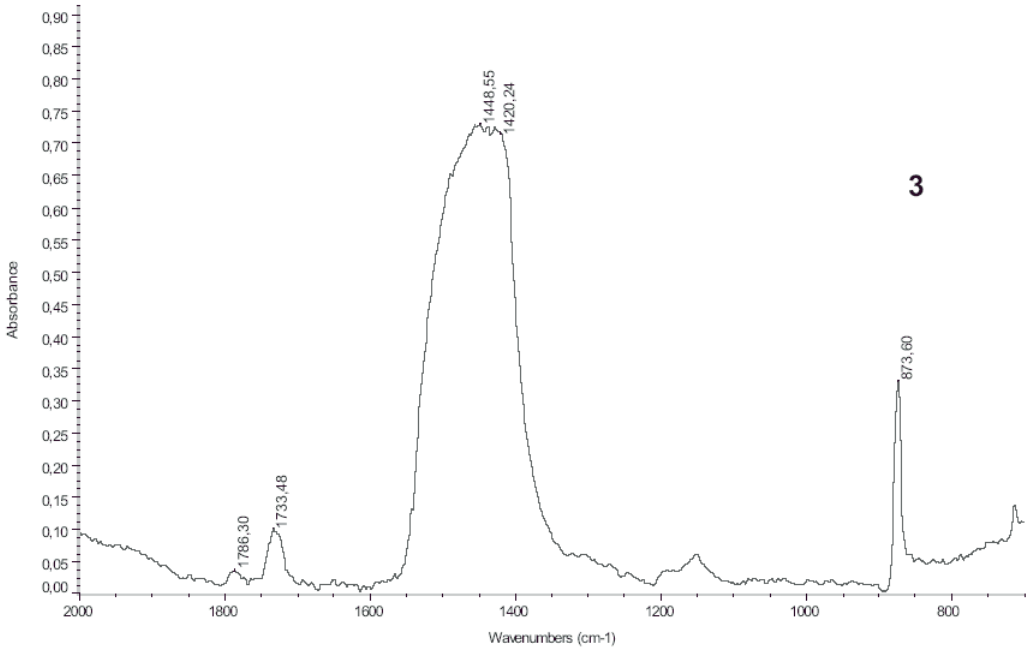


Figura 3. Espectro de infrarrojos del polvo extraído del plomo alterado, que muestra la presencia de bandas características de carbonatos (873 cm^{-1}, 1420 cm^{-1}, 1448 cm^{-1}, 1786 cm^{-1}).

La caracterización del cartón empleado en el embalaje fue realizada empleando microscopia óptica y electrónica. Estaba formada por pasta de papel fuertemente comprimida, cuyas fibras eran de algodón, artificiales y trozos de madera (Figuras 4a y 4b). La celulosa es el componente mayoritario de los materiales lignocelulósicos. Es base estructural de las células vegetales y es la sustancia fibrosa natural más importante, tanto por su abundancia como por su aprovechamiento tecnológico. Actualmente es la base de muchos productos de interés industrial (papel, fibras, cartones, aditivos, etc.) (Barba, 2002: 7-18; Browning, 1977: 111; Fengel *et al.,* 1984: 268-278; Watkins, 1990: 117-131).

Los procesos de hidrólisis y oxidación de los compuestos celulósicos que forman el cartón y la madera, pueden llegar en unas condiciones ambientales adecuadas a producir ácidos carboxílicos como el ácido fórmico (COOH), acético (CH_3COOH) o propiónico (CH_3CH_2COOH). Por otra parte, en el caso de fibras degradadas como las estudiadas en este trabajo, el crecimiento de microorganismos es importante, produciendo CO_2 en su metabolismo.

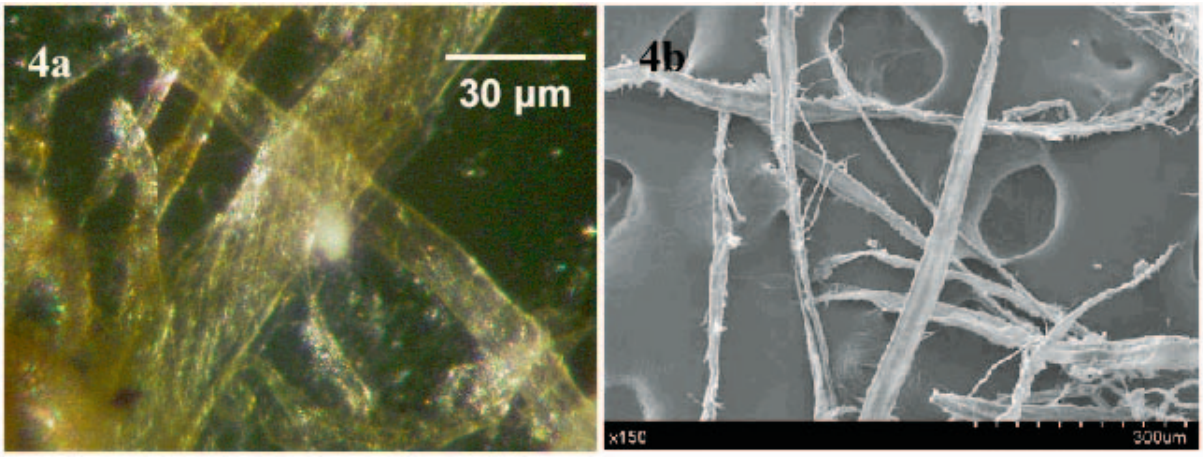


Figura 4. Microfotografías correspondientes a la pasta que forma los cartones:
(a) Microscopia óptica; (b) Microscopia electrónica de barrido.

Los sellos de plomo estaban almacenados en diferentes huecos realizados en cartones degradados y nosotros sugerimos que la alteración detectada puede deberse a dicho almacenamiento durante un largo período de tiempo.

El proceso que ocurre puede resumirse en la Figura 5. Inicialmente, los sellos de plomo están oxidados debidos al oxígeno atmosférico y se forma una ligera capa superficial de carbonatos de plomo, por reacción con CO_2 atmosférico (Figura 5a). Este primer proceso origina unas pequeñas incisiones en el metal (Figura 5b). Posteriormente, la condensación de los ácidos orgánicos, que se han formado a partir de las fibras degradadas y la presencia de microorganismos, producen la disolución de los óxidos y carbonatos de plomo originalmente producidos en la superficie (Figura 5c). La penetración de los ácidos orgánicos en las pequeñas incisiones originales provoca grandes huecos e incisiones, llegando incluso hasta la rotura del metal. Se produce la deposición superficial de carbonatos de plomo debido al ataque ácido en la superficie de plomo (Figura 5d). Finalmente, se produce una nueva deposición de óxidos/carbonatos de plomo debido a las condiciones atmosféricas (O_2/CO_2) (Figura 5e) (Tetrault, 1992; Tennent *et al.,* 1993; Donovan y Stringer, 1972: 537; Turgoose, 1985: 15).

Para comprobar la hipótesis propuesta, se hicieron diferentes experiencias. En un recipiente cerrado herméticamente que contenía agua y CO_2 se introdujo una pequeña lámina de plomo entre dos láminas de cartón y se colocó en una estufa a 50ºC (Figura 1d).

Tras tres meses de almacenamiento, se observó la presencia de la herrumbre blanca y polvorienta, característica de los compuestos de carbonatos de plomo. El estudio superficial empleando difracción de rayos X con cristales Göbel indicó la presencia de plomo, hidrocerusita y cerusita, de forma similar al observado en la colección de sellos (Figura 2).

Paralelamente, se llevo a cabo otra experiencia en las mismas condiciones, salvo que no estaba presente el cartón. En este caso no se observó ningún tipo de producto de corrosión del plomo. El diagrama de difracción de rayos X sólo mostró en este caso la presencia de plomo y óxidos de plomo (PbO_x), formados a partir de la oxidación atmosférica (Figura no mostrada).

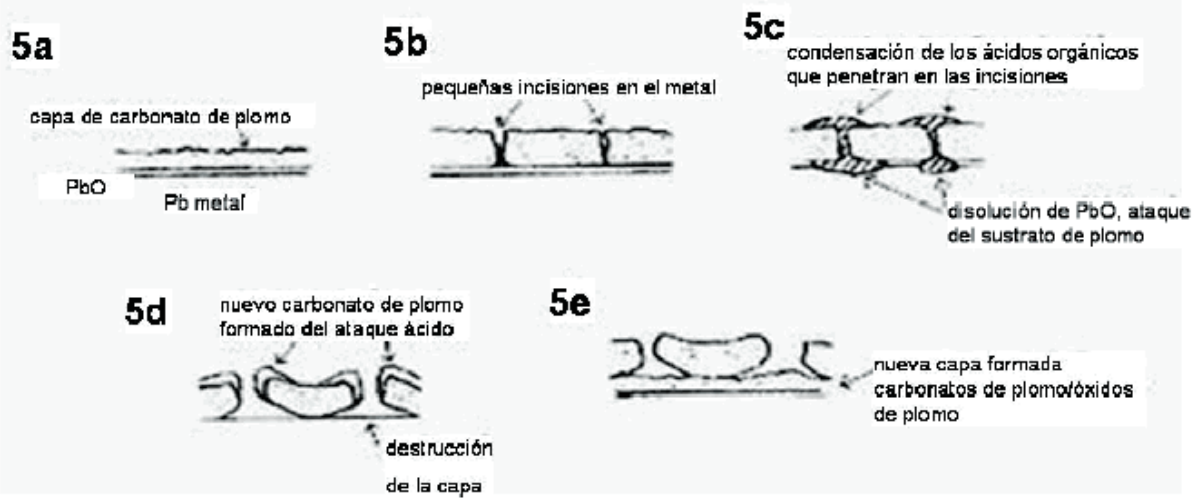


Figura 5. Diagrama esquemático del proceso de deterioro de la colección de sellos de plomo del Ayuntamiento de Sevilla.

IV. CONCLUSIONES

Se han caracterizado tanto los sellos como los productos de alteración derivados de los mismos.

La presencia de carbonatos de plomo (cerusita e hidrocerusita) es responsable de la herrumbre blanca y polvorienta que se detecta en la superficie, que en algunos casos es tan importante que ha llegado a provocar la desaparición de los relieves de los sellos.

Se ha estudiado la procedencia de estos compuestos. Posiblemente, los procesos de hidrólisis y oxidación de los compuestos celulósicos unido a la presencia de gran cantidad de microorganismos en los cartones del embalaje han producido en el ambiente ácidos carboxílicos, que han reaccionado con los óxidos superficiales de plomo, formando sales orgánicas de plomo, que posteriormente se han transformado en carbonatos básicos de plomo y otros compuestos secundarios.

Este estudio va a permitir poner a punto un método de almacenamiento adecuado, que evitará la presencia masiva de celulosa y permitirá una regulación adecuada de presión y temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha podido realizarse gracias a la financiación prestada por el proyecto MAT2007-63234.

BIBLIOGRAFÍA

AWAD, S.A. y ELHADY, Z.A. 1969: “Behaviour of lead as a metal-metal phosphate electrode and mechanism of its corrosion inhibition by phosphate ions”. *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem* 20 1: 79.

AWAD, S.A.; KAMEL, K.M. y COOK, A.R. 1972: “Inhibition and promotion of lead corrosion with the dichromate ion”. *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem* 34 2: 431.

BADAWY, W.A. 1990: “Effect of some organic amines as corrosion inhibitors for lead in 0.3 M HCl solution”. *Corrosion* 46 12: 978.

BARBA, C. 2002: *Tesis doctoral Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales.* Universidad Rovira i Virgili: 7-18.

BROWNING, B.L. 1977: *Libro "Analysis of paper".* 2nd ed. New York. Marcel Dekker: 111 pp.

DALOZ, C.; RAPIN, P.; STEINMETZ, P. y MICHOT, G. 1998: "Corrosion Inhibition of Rapidly Solidified Mg-3% Zn-15% Al Magnesium Alloy with Sodium Carboxylates". *Corrosion* 54 6: 444.

DEGRIGNY, C. y LE GALL, R. 1999: "Conservation of Ancient Lead Artifacts Corroded in Organic Acid Environments". *Studies in Conservation,* 44(3): 157.

DONOVAN, P.D. y STRINGER, J. 1972: "Corrosion of metals and their protection in atmospheres containing organic acid vapors" In: N.E. Hamner (Editor) *Proceedings of 4th International Congress on Metallic Corrosion.* NACE. Houston, TX: 537.

DUNKLE, S.E. 2002: Presentation "Romarchite and other corrosion phases on metal. Artifacts from the Queen Anne`s Revenge (1718)". *Master of Science in geological sciences.* Blacksburg. Virginia.

FENGEL, D. y WEGENER, G. 1984: *Libro "Wood: Chemistry, ultraestructure and reactions".* Walter de Gruyter. Berlin/New York: 268-278.

Ministerio de Cultura. *www.mcu.es/archivos/sellos_mediev*

RAPIN, C.; D'HUYSSER, A.; LABBE, J.P.; GENGEMBRE, L. y STEINMETZ, P. 1996: *La Revue de Metallurgie – CIT,* Febrero-Mayo: 179.

ROCCA, E.; RAPIN, C. y MIRAMBET, F. 2004: "Inhibition treatment of the corrosion of lead artefacts in atmospheric conditions and by acetic acid vapour: use of sodium decanoate". *Corrosion Science* 46: 653-665.

TETRAULT, J. 1992: IIC-CG17.

TENNENT, N.H.; TATE, J. y CANNON, L. 1993: SSCR J.4,8.

TURGOOSE, C. 1985: "Lead and tin: studies in conservation and technology" In: C.E. Miles, S.C. Pollard (Eds.) *UKIC Occasional Papers* No. 3. London: 15.

WATKINS, S. 1990: "Chemical watermarking of paper". *Journal of the American Institute for Conservation* 29 (2): 117-131.

EL PUENTE ROMANO (PONT DEL DIABLE) DE MARTORELL (BARCELONA)

THE ROMAN BRIDGE (PONT DEL DIABLE) IN MARTORELL (BARCELONA)

AURELIO ÁLVAREZ[1], JOSÉ LUIS PRADA[2], ÁFRICA PITARCH[3], JORGE GALINDO[1]

(1) Departamento de Geología. Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra, Spain.
(2) Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Catalunya.
c/ Aiguablava, 109-113. 08033 Barcelona, Spain.
(3) Laboratorio de aplicaciones analíticas de rayos-X (LARX). Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera".
c/ Solé Sabarís s/n. 08028 Barcelona. Spain. Beca FPU AP2006-4591.

RESUMEN

El puente romano conocido como "Pont del Diable" formaba parte de la vía Augusta y fue construido en el año 10 AC. En su construcción se emplearon materiales rojos del Buntsandstein. En el arco honorífico se usaron areniscas bioclásticas procedentes de Can Raimundet (Sant Llorenç d'Hortons). Las alteraciones que presenta el puente se pueden agrupar en dos apartados distintos: alteraciones propias de la piedra y alteraciones de origen químico y/o orgánico con la formación de pátinas, costras y, a veces, con movilización de sales solubles. Su emplazamiento es el principal problema, dado que se encuentra en medio de una densa red de vías de comunicación, todas ellas construidas a niveles superiores a los del puente, lo que agudiza la concentración de atmósferas contaminantes. Programar una actuación de conservación y restauración es muy complicado, debido a la formación de ambientes contaminantes altamente agresivos.

ABSTRACT

The roman bridge named "Pont del Diable" is 130 m long. It was edified with a red Buntsandstein sandstone of Triassic formation. The bioclastic calcarenites used in the honorific arc proceed from a Miocene formation located in "Can Raimundet" (Sant Llorenç d'Hortons). It was also used a Miocene grey limestone from "Costa Blanca" (Castellbisbal). Diverse types of mortars are employed in the edification of the bridge. The main problem for the conservation on the monument is its actual emplacement in the middle of a road network and close to very contaminant industries. Two different kinds of alterations can be considered: alterations that affect directly the stone and alterations that affect only its surface. The use of analytical techniques has made possible the determination and characterization of the origin of the alterations. The human actuation has been also important in the worsening of the stone decay.

Palabras clave: Puente romano, materiales de construcción, alteraciones, pátinas, costras, eflorescencias, esférulas, atmósfera de contaminación.

Key words: *Roman bridge, constructive materials, alterations, patinas, crusts, eflorescences, esferules, contaminated atmosphere.*

I. PRESENTACIÓN

El “Pont del diable” ha sufrido diversas modificaciones, siendo las más importantes las reconstrucciones que tuvieron lugar en época románica y en época gótica. Actualmente el perfil del puente corresponde a la estructura gótica (figura 1).

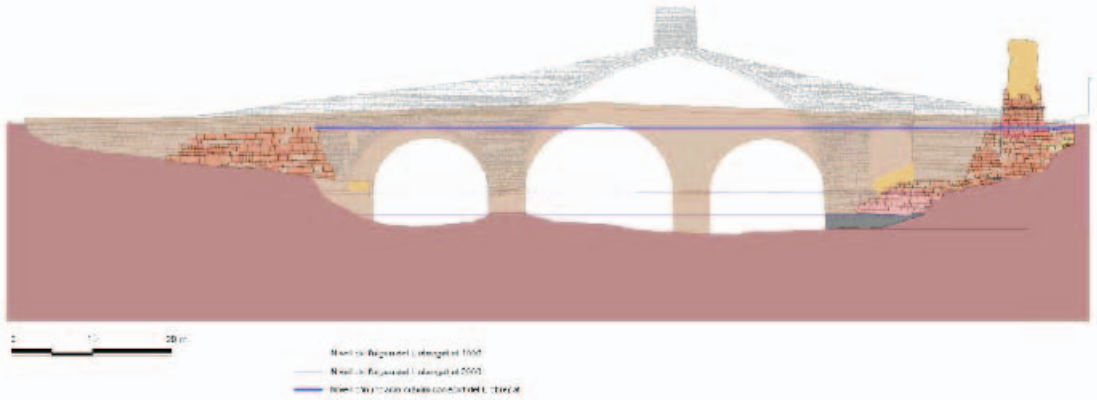


Figura 1. Fases constructivas del Pont del diable, con indicación de los niveles máximos de agua de los que se tiene noticia (según A. Mauri, 1997).

El puente romano está construido sobre las filitas del Ordovícico superior-Siluriano que conforman el pequeño desfiladero por donde el río Llobregat se abre paso hacia su propia desembocadura. La obra romana tiene una longitud de 130 metros y supera una anchura de río de 75 metros. Se desconoce la estructura de los fundamentos de los pilares apoyados en el curso del río donde la base rocosa se sitúa a 12 m por debajo del nivel actual del agua. De lo que hay evidencia es del uso de grapas de plomo para trabar los bloques de piedra que estaban en contacto con el agua.

La restitución de la estructura de la obra romana ha sido objeto de varias hipótesis. Una de las más antiguas considera el puente con una rasante plana y formado por numerosos arcos de medio punto (Figura 2) (Clopas, 1963).

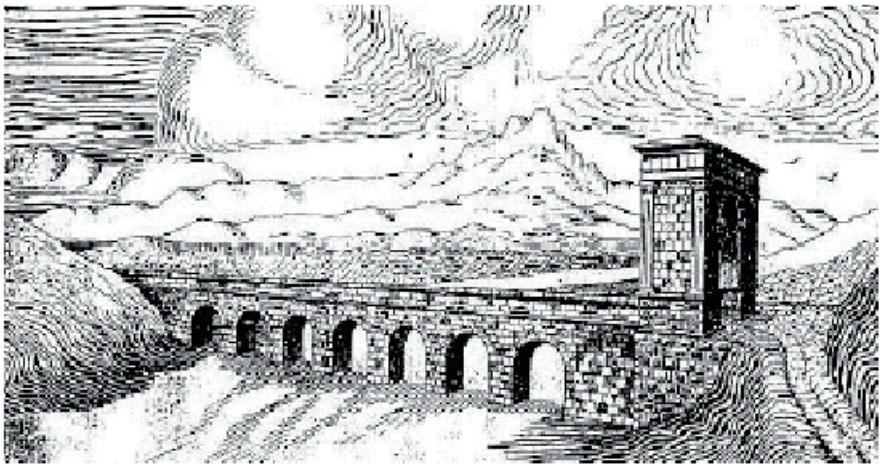


Figura 2. Restitución del puente romano según Clopas (1963).

Las bases del puente y el arco que da acceso al puente son de época romana. Está documentada una reconstrucción del año 1143, que pudo ser debida o bien a la destrucción del puente, accidental o premeditada (Izquierdo, 1997), o al simple deterioro del mismo de la cual no queda ningún documento gráfico. La obra gótica iniciada el año 1283 y terminada hacia 1295, se lleva a cabo mediante una utilización intensísima de los materiales romanos (figura 3).

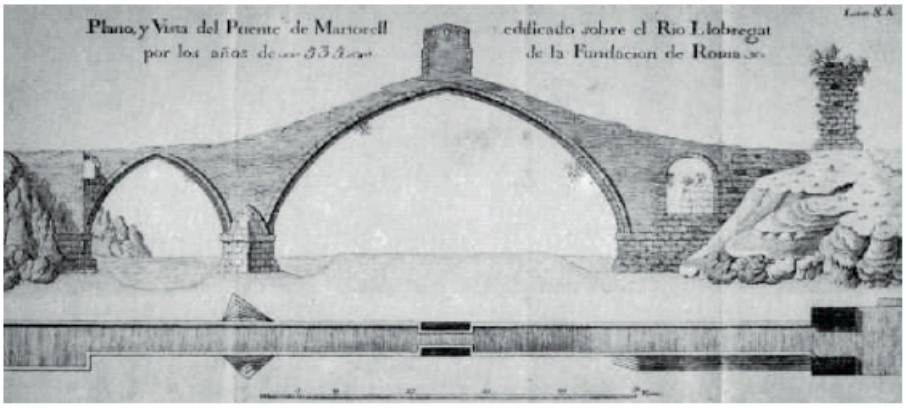


Figura 3. Perfil del puente gótico según el *Tratado de fortificación* de Muller (1769).

El puente actual, destruido durante la guerra civil (1939), es una reconstrucción del año 1963 y ha mantenido la estructura de la reforma gótica con un arco central de doble ángulo que tiene una altura de 21 m y una luz de 43 m (figura 4).

Figura 4. Estado actual del puente.

Consideración aparte merece el arco honorífico del cual hacemos únicamente una breve referencia (Figuras 5 y 6).

Figura 5. Grabado de A. de Laborde publicado en 1808.

Figura 6. Estado actual del arco honorífico.

II. LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS

El "Pont del diable" fue construido con las areniscas rojas del Buntsandstein, que se extienden por toda la zona, procedentes principalmente de los afloramientos del "Torrent de les Deveses" (Figura 7). Las areniscas bioclásticas (Figura 8), empleadas en el arco honorífico, provienen de la cantera de "Can Raimundet" en Sant Llorenç d'Hortons, donde ha sido localizada una explotación de época romana (Figura 9). De la zona denominada Costa Blanca (Castellbisbal) procede una caliza masiva de color gris claro (Figura 10), utilizada en la confección de algunos bloques y para la obtención de la cal empleada en los morteros. La figura 11 muestra la localización de los distintos lugares de procedencia.

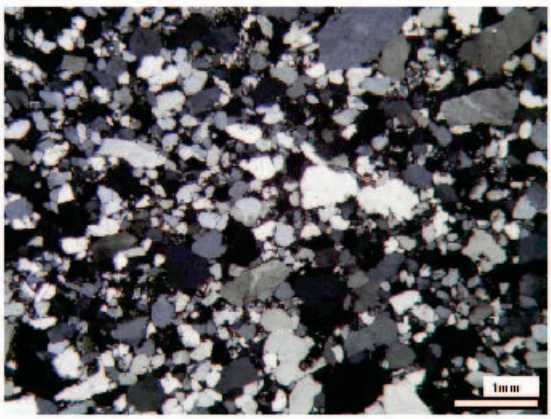


Figura 7. Microfotografía de la arenisca del Buntsandstein (NC)

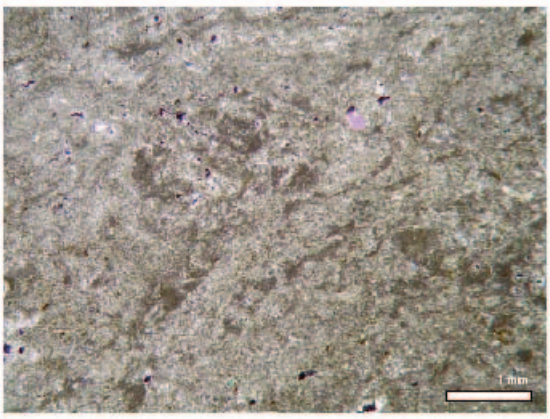


Figura 8. Microfotografía de la arenisca bioclástica de Can Raimundet (NC)

Un material importante en la construcción romana son los morteros. Constituyen el núcleo de los pilares y se utilizaron también en la edificación de los muros de contención (Figura 10).

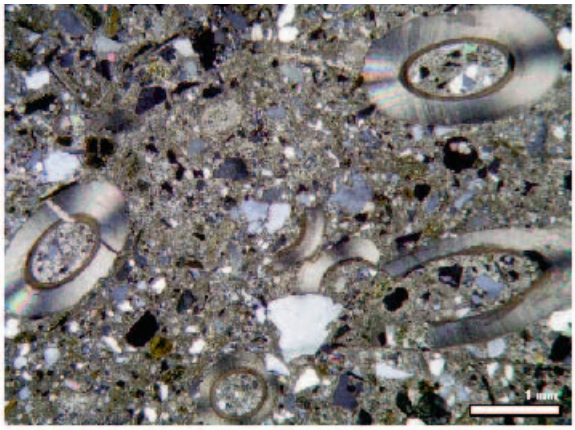


Figura 9. Microfotografía de las calizas de Costa Blanca (NC).

Figura 10. Cantera romana de Can Raimundet.

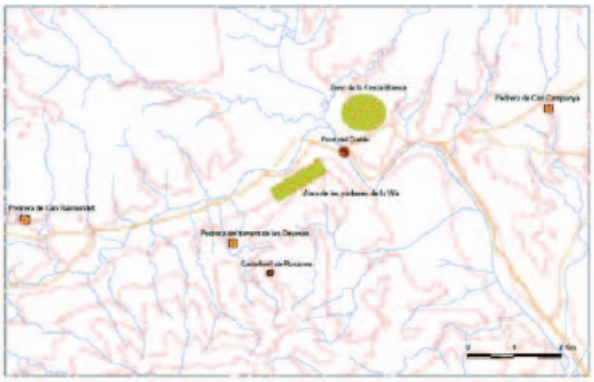


Figura 11. Procedencia de los distintos materiales empleados en el "Pont del diable".

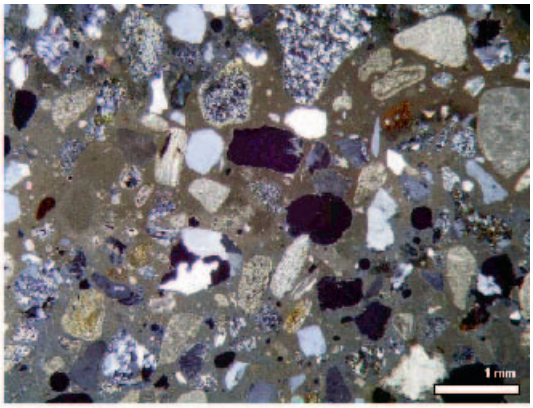


Figura 12. Microfotografía del mortero empleado en época romana (NC).

III. COSTRAS Y EFLORESCENCIAS

Se han observado distintos tipos de costras de acuerdo con el tipo de substrato sobre el que se han desarrollado y de acuerdo también con su orientación en el monumento. Han sido originadas por agentes contaminantes y microclimáticos que han desencadenado distintos mecanismos según la naturaleza del substrato. Los principales tipos de alteraciones observados son:

a) areniscas rojas del Buntsandstein de composición silícea

A-1 Costras grises pulverulentas

A-2 Costras negras con pátinas rojizas

A-3 Costras negras con tonalidades verdosas

A-4 Superficies con descostraciones y desplacaciones

b) calcarenitas de grano fino y composición carbonatada

B-1 Costras grises pulverulentas con intensa descamación

B-2 Costras oscuras con algas y líquenes e intensa descamación

B-3 Costras grises con áreas negras y aspecto dendrítico

A-1 Costras grises pulverulentas: su composición es muy variada. Contiene arcillas y calcita (micrita) que son productos de neoformación debidos a alteraciones químicas de la roca y a la formación de biodepósitos. Algunos cristales de yeso y óxidos de hierro junto a aportaciones eólicas originadas por la contaminación atmosférica Tiene un aspecto rugoso y textura microporosa (Figura13). El microscopio electrónico de barrido indica la presencia de eflorescencias de yeso en los microporos (Figura 14).

Figura 13. Costras grises pulverulentas con alveolización y arenización.

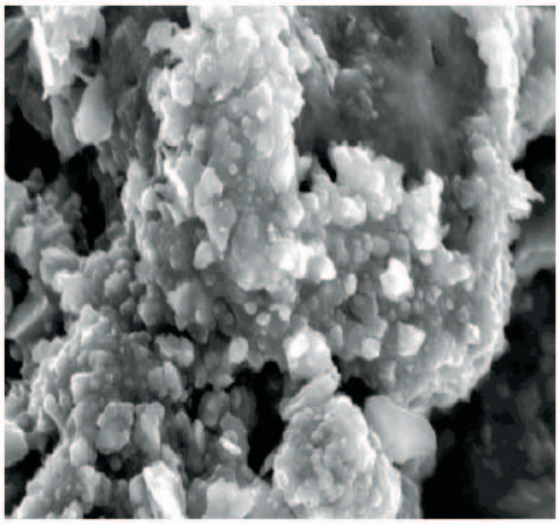


Figura 14. Cristales de yeso formando eflorescencias (SEM)

A-2 Costras negras con pátinas rojizas: son superficies ennegrecidas con tonalidades rojizas debidas a la presencia de óxidos de hierro que recubren los granos de la roca (Figuras 15 y 16). También hay una pérdida de la matriz sedimentaria y en los poros abiertos por el lavado aparecen eflorescencias de yeso con caras redondeadas, que indican la existencia de ciclos continuados de disolución-precipitación. El intenso lavado de la matriz se debe a la acción de un fuerte contaminación ambiental de carácter ácido.

Figura 15. Pátina de óxido de hierro y subeflorescencias.

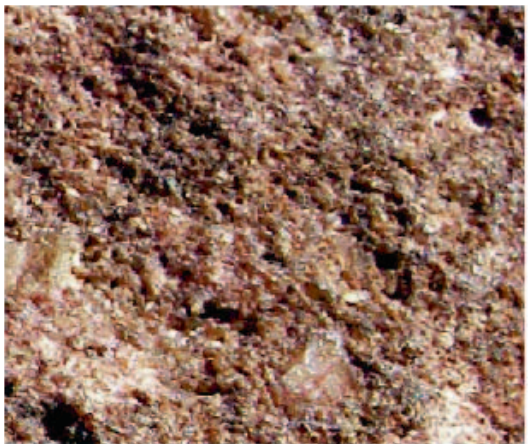


Figura 16. Pátina de óxidos de hierro y lixiviado de la matriz.

A-3 Costras negras con tonalidades verdosas: recubrimiento continuo cuya tonalidad verdosa cambia con el grado de humedad (Figura 17). Se desarrolla sobre sustratos silíceos. El grado de arenización es bajo pero da lugar a una moderada descostración. Producida por alteración y colonización orgánica de líquenes *(Lecanora dispersa)* y de algas clorofíceas. Las superficie colonizada de la piedra presenta una clara regresión. La matriz arcillosa ha sido lavada y sustituida por cristales de yeso y calcita de neoformación que rodean los granos silíceos residuales. En las cavidades producidas se han depositado partículas de origen eólico con presencia de microesférulas debidas a la contaminación industrial (Figura 18). Hay pequeñas partículas metálicas de titanio. El primer recubrimiento fue la pátina biológica que se ha visto alterada por la fuerte contaminación industrial.

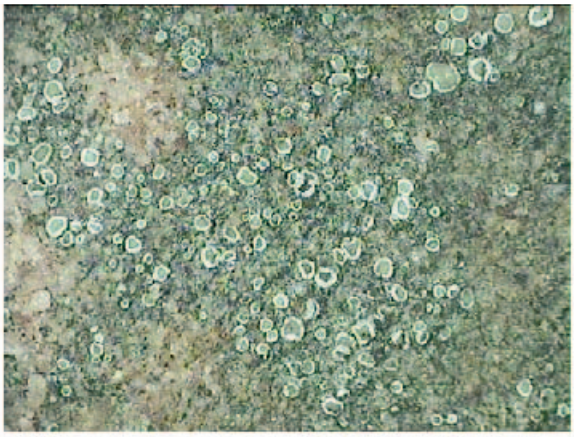


Figura 17. Liquen *(Lecanora dispersa),* con sus apotecios. Presenta descamación, depósitos de polvo y partículas contaminantes junto a una regresión de la superficie.

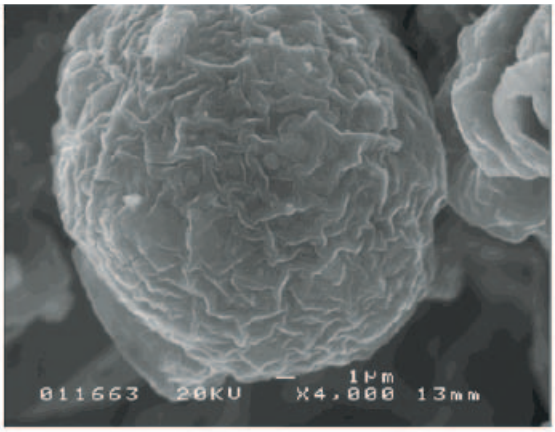


Figura 18. Microesférula de cenizas volantes de superficie rugosa.

A-4 Superficies con descostraciones y desplacaciones: son las típicas alteraciones debidas a la circulación de sales solubles que no producen eflorescencias porque desorción del agua tiene lugar en forma de vapor.

B-1 Costras grises pulverulentas con intensa descamación: forma un conjunto de partículas de forma y tamaño muy heterogéneo y muy fragmentado con abundante porosidad debida al lavado de partículas. Existen poros circulares muy grandes debidos a la acción mecánica del goteo. Presencia de partículas de yeso (Figura 19). Microesférulas de diversa composición, metales con hierro, aluminosilicatos y de composición orgánica (Figura 20). Mecanismo de transporte atmosférico.

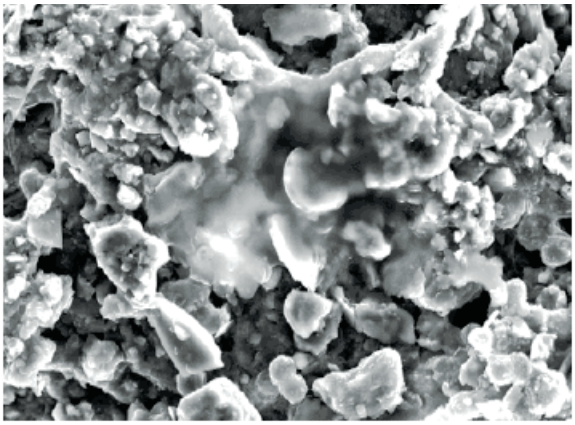


Figura 19. Partículas de yeso geliforme y ameboide, aglutinando otras partículas.

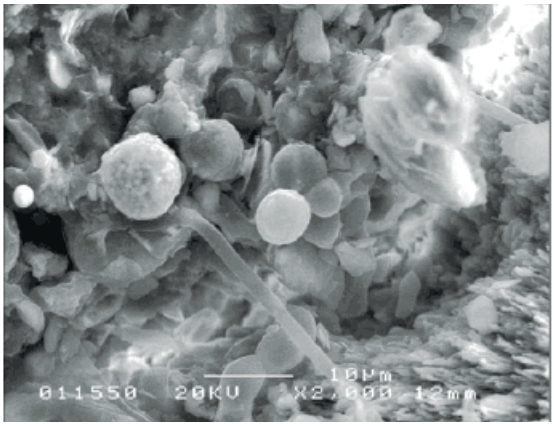


Figura 20. Microesférulas de cenizas volantes. También se observan esporas e hifas de líquenes.

B-2 Costras oscuras con algas y líquenes e intensa descamación (Figura 21). Partículas de contaminación (Figura 22) y depósitos de polvo con algas de carácter endolítico que disuelven los carbonatos y originan micro cavidades. Líquenes del tipo *Caloplaca sp.* Fuerte descostración y retroceso superficial. Abundancia de microorganismos. Yeso depositado en las fracturas. Pátina fundamentalmente de origen biológico. La rápida pérdida de material superficial causa la inestabilidad de esta pátina.

Figura 21. Color muy oscuro con presencia de algas y líquenes. Intensa descamación.

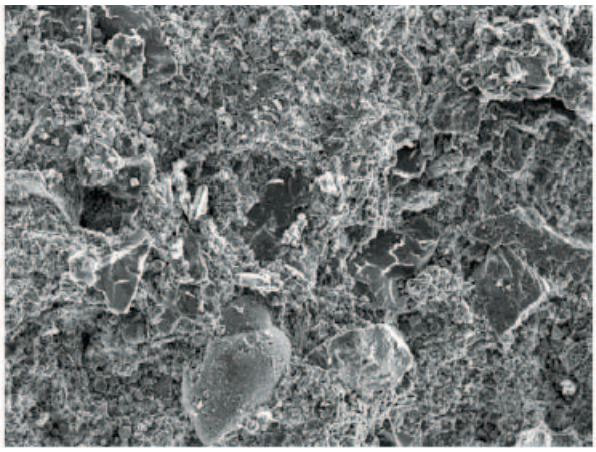


Figura 22. Restos fósiles y fragmentos de origen detrítico.

B-3 Costras grises con áreas negras y aspecto dendrítico: Costra muy desarrollada con un espesor entre 1-3 mm y superficie rugosa. Presenta micro canales sinuosos que le dan un aspecto dendriforme (Figura 23). Las zonas negras corresponden a restos del talo de líquenes muy alterados (Figura 24). Por debajo la costra la roca está arenizada y presenta múltiples eflorescencias. Nódulos de yeso de tamaño muy variable con forma tipo rosa del desierto lo que indica una fuerte evaporación. También hay arcillas y carbonatos. La calcinación de los líquenes puede ser debida a alguno incendio que, al eliminar la actividad biológica de los líquenes facilitó la deposición de la costra de yeso.

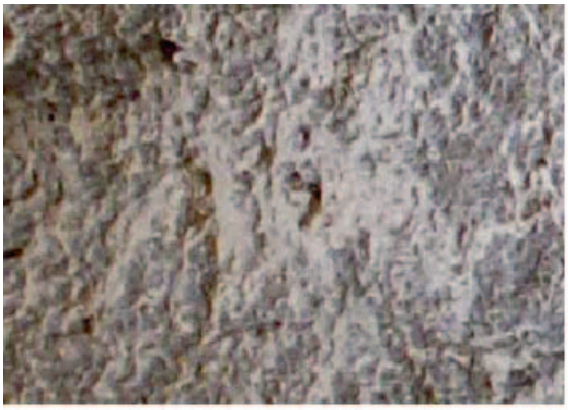


Figura 23. Detalle de la costra que pone de manifiesto su aspecto dendrítica.

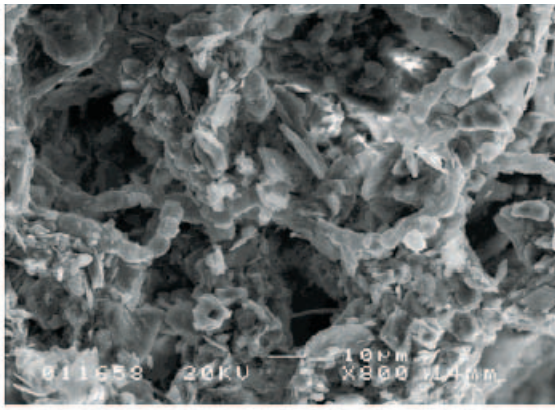


Figura 24. Restos de hifas, algas y micropartículas de carbonatos y arcillas.

A continuación (Tabla 1) hacemos un breve resumen de las principales características de las diversas costras detectadas.

		Areniscas rojas del Buntsandstein				Calcarenitas		
		A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3
Recubrimiento	Costra gris	■			■	■		■
	Costra negra		■	■			■	
Pátina	de origen orgánico	■		■		■	■	■
	de óxido de hierro		■					
Eflorescencias de yeso		■	■	■		■	■	■
Criptoeflorescencias de yeso			■		■			
Óxidos de hierro		■	■			■		
Arenización y alveolización		■	■	■		■	■	■
Descostración				■	■	■	■	
Lluvia ácida (microesférulas)				■		■		
Presencia de líquenes				■		■	■	■

Tabla 1. Resumen de las principales características de las pátinas observadas.

IV. COMENTARIOS

El "Pont del diable" de Martorell es un claro ejemplo de la degradación a que están sometidos los monumentos histórico-arqueológicos en la zona altamente industrializada de los alrededores de Barcelona. A la contaminación del medio debe añadirse la agresividad provocada por la densificación de vías de transporte como pueden ser el tren de alta velocidad AVE y la proliferación de autopistas que confluyen en los alrededores del puente. La amenaza de crecidas del río ha obligado a construir canales de desagüe que han complicado todavía más la infraestructura de la zona.

Si comparamos los alrededores del puente en los años cincuenta con los tiempos actuales la diferencia es totalmente clara. En el año 1954 (Blasi, 1954) se puede ver el puente aún destruido por efecto de la guerra civil y con la pasarela que suplía la falta de los arcos de la parte de Martorell (Figura 25). La figura 26 nos muestra la misma zona en el año 2007.

Figura 25. Estado del puente en el año 1957. Se ve la pasarela construida para suplir la falta de los arcos destruidos durante la guerra civil.

Figura 26. Vías de comunicación actuales vistas desde el puente.

La naturaleza de las alteraciones nos indican la presencia de un medio ácido producido por la contaminación industrial. Se produce una hidrólisis ácida sobre ciertos minerales de tipo aluminosilicatos con la neoformación de arcillas y con lixiviación del óxido de hierro y la disolución de los componentes carbonatados. Existe un aporte de partículas contaminantes atmosféricas que originan un depósito de polvo. Existe una sulfatación de los carbonatos (formación de yeso) aunque la mayoría de sulfatos provienen del aire y no son originados por reacción con el sustrato rocoso.

Podemos considerar tres tipos de microesférulas:

a) de superficie lisa y composición aluminosilicatada que corresponden a cenizas volantes de origen industrial, compuestas de azufre potasio, calcio y metales (hierro y titanio). Provienen de la industria del cemento y de las centrales termoeléctricas.

b) de superficie rugosa formadas por azufre, calcio, potasio y metales (hierro y titanio). provienen de la combustión de gasoil y otros combustibles fósiles (vehículos, motores industriales y otros).

c) de superficie lisa o poco rugosa y de composición orgánica. Esporas, algas, colonias de bacterias.

Los mecanismos de contaminación han atacado los recubrimientos de origen biológico favoreciendo la pérdida de material y mineralizando los restos y los componentes de los líquenes y las algas. Las actuaciones de tipo antrópico (fuego, escombros, detritus, graffitis…) han agravado el proceso. Los orines han originado medios nitrificantes.

Todos estos mecanismos han resultado más dañinos para las rocas de composición carbonatada.

BIBLIOGRAFÍA

BLASI, P. 1954: *Les terres catalanes.* Aymà Editors. Barcelona.

CLOPAS, I. 1963: *Historia y leyenda del puente del diablo de Martorell.* Ayuntamiento de Martorell. Martorell.

FARRENY, M.; MAURI, A.; VIVES, M. 1994: *La seqüència històrica del Pont del Diable i el seu context territorial.* Miscel·lània d'homenatge a Jaume Codina. El Prat: 219-250.

IZQUIERDO, P. 1997: *Memòria de la primera fase d'intervención arqueológica del Proyecto complementario de acondicionamiento hidráulico del rio Llobregat y rieras en el entorno de la autovía del Baix Llobregat al Pont del Diable.* Inédita.

MAURI, A. 1997: *Sistemes territorials i l'estudi de les traces arqueològiques medievals. Un exxemple d'aplicació a l'antiga baronia de Castellvell de Rosanes (Baix Llobregat, Barcelona).* Memoria de licenciatura. Universidad de Barcelona. Barcelona. Inédita.

MULLER, J. 1769: *Tratado de fortificación, traducción, notas y adiciones de Miguel Sánchez Taramas.*

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y ANALÍTICA DE LOS LADRILLOS DE LA FACHADA DEL PALACIO DE PEDRO I, SEVILLA

ANALYTICAL AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF FAÇADE BRICKS FROM THE PEDRO I PALACE, SEVILLA

JESÚS Mª RINCÓN[1], MAXIMINA ROMERO[1], MARÍA TERESA BLANCO[2], SAGRARIO MARTÍNEZ[2]

(1) Departamento de Sistemas Constructivos de la Edificación
(2) Departamento de Síntesis
Instituto E. Torroja de CC Construcción, CSIC. c/ Serrano Galvache 4. 28033 Madrid

RESUMEN

Se ha caracterizado la composición y microestructura de varios ladrillos de tipo cerámico de la fachada mudéjar del Palacio de Pedro I en los Reales Alcázares de Sevilla. Para ello, se han utilizado las técnicas analíticas y de observación microestructural de DRX, SEM/EDX y FTIR. Asimismo, algunos de los morteros de fijación de dichos ladrillos han sido incorporados a esta investigación. Dicha fachada fue realizada en el siglo XII en escayola por artesanos mudéjares, incluyendo unas teselas o azulejos de cerámica vidriada insertadas entre los dibujos presentes en ella. Flanqueando la fachada hay unos pórticos con arquerías balconadas realizados en fábrica de ladrillo de color rojo crema. Esta investigación ha mostrado una elevada alteración de este tipo de ladrillos antiguos.

ABSTRACT

The composition and microstructure of various types of ceramic brick from the façade of the Pedro I Palace in the Reales Alcázares of Seville have been characterized. XRD, SEM/EDX and FTIR have been used as analytical and mineralogical characterization techniques. Also, some of the mortars fixing these bricks have been incorporated into the research. The façade was done in the twelfth century in plaster by Mudéjar artisans, including some "teselas" or glazed ceramic tiles inserted between the designs found in it. At the sides of the façade there are some porches with balconied arches made with cream-red brickwork. This research has shown a high deterioration of this type of ancient bricks.

Palabras clave: ladrillos antiguos, palacio mudéjar, fachada, análisis químico, espectroscopia infrarroja, difracción de rayos X, Palacio de Pedro I, Sevilla.

Key words: *ancient bricks, Mudéjar palace, façade, chemical analysis, infrared spectroscopy, X ray diffraction, Pedro I palace, Seville.*

I. INTRODUCCIÓN

El Palacio del Rey Pedro I de Castilla está situado en el recinto de los denominados Reales Alcázares de Sevilla, que constituye una serie de edificaciones palaciegas de diferentes épocas: Islámica, Mudéjar, Gótico y Renacentista (Almagro, 2005). Desde 1988 este conjunto está declarado Patrimonio de la Humanidad, habiendo sido este Palacio objeto de estudios previos (Chavez, 2004). La fachada de este Palacio está constituida por un frente con un paño de escayola con insertaciones de teselas vidriadas todo ello de estilo mudéjar y flanqueado por unas arquerías balconadas de ladrillos rojos y blanco-amarillentos. En los últimos años se han publicado varios trabajos dedicados a ladrillos mudéjares de iglesias de Calatayud que se datan en el siglo XIV (Lapuente *et al.,* 1994) y otros a ladrillos más próximos, los dedicados a los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla que se datan en siglo XIII, época almohade (Leguey *et al.,* 2001).

La fachada objeto de esta investigación es muy armónica y de gran belleza fue realizada en el siglo XII. Las teselas vidriadas han sido ya objeto de varias publicaciones y comunicaciones (Rincón *et al.,* 2008a; Queralt *et al.,* 2007) , por lo que se presentan aquí los resultados obtenidos en la caracterización de los materiales de la fábrica de ladrillo que tienen un aspecto muy deteriorado con una elevada porosidad, descamaciones e incluso eflorescencias en algunas zonas.

II. MATERIALES Y METODOS

II.1. Toma de muestras de ladrillos, tapiales y morteros

Muestras tomadas: Se han tomado un total de once muestras de ladrillos con la siguiente distribución respecto a la fachada objeto de esta investigación: 3 del tapial, 6 fragmentos de diversos ladrillos de varias zonas, 1 mortero de agarre y 1 mortero de yeso. Se describen a continuación las características principales de estas muestras:

Descripción:

- Muestra 1AA: Tapial en muro de la galería alta del Patio de las doncellas, a unos 30 cm del suelo.
- Muestra 2AA: Tapial del muro superior de la Galería de la fachada.
- Muestra 3AA: Fragmento de ladrillo de encintado inferior del tapial.
- Muestra 4AA: Fragmento de ladrillo (Muestra 4AA.1)y mortero de agarre (Muestra 4AA. 2) del pilar más occidental adosado al cuerpo de la portada central.
- Muestra 5AA: Fragmento de ladrillo de la jamba oriental del balcón occidental.
- Muestra 6AA: Fragmento de ladrillo (Muestra 6AA.1) y mortero de yeso (Muestra 6AA.2) del recrecido segundo de la jamba más oriental de la galería.
- Muestra 7AA: Tapial del muro inferior junto a la puerta de acceso a la escalera.
- Muestra 8AA: Fragmento de ladrillo de la fachada sobre arcos del lateral oriental. Corresponde a la zona oculta por el arrocabe, casi en contacto con los canecillos.
- Muestra 9AA Fragmento de ladrillo del murete sobre el alero (murete recrecido posterior o de contrarresto del alero).

II.2. Métodos

Se han llevado a cabo análisis químicos completos for Fluorescencia de rayos X de las muestras indicadas en la Tabla 1. El estudio de las transformaciones térmicas a elevadas temperaturas se ha realizado

por ATD/TG (Análisis Térmico Diferencial y Termogravimétrico) en un equipo SETARAM, cuantificándose la concentración de $CaCO_3$ por dicho método. Las fases mineralógicas se han identificado por FTIR (Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier) y por DRX (Difracción de Rayos X) en un equipo Phillips con radiación Kα del cobre. La porosidad abierta, densidad aparente y diámetro de poro se han determinado por Porosimetría de mercurio con un equipo de Micromeritics.

Óxido	3AA	4AA.1	5AA	8AA	9AA	6AA.1
SiO_2	47,42	50,10	47,85	45,16	44,69	46,59
Al_2O_3	10,59	9,87	12,60	9,16	10,64	10,02
Fe_2O_3 (total)	4,70	4,844	5,271	4,67	4,77	4,22
MnO	0,09	0,10	0,1	0,08	0,09	0,08
MgO	2,83	3,35	3,99	3,38	3,67	4,02
CaO	21,19	23,56	24,54	25,47	24,67	23,65
Na_2O	0,96	0,86	0,68	0,76	0,95	1,07
K_2O	1,85	2,23	2,07	2,00	2,02	1,86
TiO_2	0,58	0,66	0,62	0,58	0,63	0,56
P_2O_5	0,29	0,21	0,19	0,24	0,25	0,32
L.O.I	9,48	4,22	2,08	8,49	7,67	7,6

Tabla 1. Análisis químico de las 6 muestras de ladrillos.

III. OBJETIVOS

- Comparar las muestras 1, 2 y 7, para ver si son homogéneas, pues corresponderían al Palacio original pero en 3 sitios distintos. 1 en patio interior y 2 y 7 de fachada pero de arriba y abajo respectivamente.
- Las muestras 3 y 8 son ladrillos originales, habría que confirmar si también lo es la 9.
- Las otras muestras parecen corresponder a reformas. La 5 es de los arcos de la galería lateral alta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los ladrillos se caracterizaron desde el punto de vista mineralógico (DRX, FTIR), químico elemental (FRX) y físico (ATD/TG y porosimetría de mercurio).

IV.1 Análisis químico

La Tabla 1 muestra los análisis químicos de las seis muestras de ladrillo y en las Figuras 1 y 2 se pueden ver representaciones gráficas de dicha composición.

Tal y como se puede ver en las mencionadas tabla y figura 1 la composición química de todos los ladrillos es muy parecida, siendo su componente más abundante el óxido de silicio, seguido por el de calcio, aluminio, hierro y magnesio. La pérdida por calcinación mostrada por la mayor parte de estos materiales es bastante elevada, ello sin duda está relacionado con el alto contenido en CaO de los mismos.

Al representar la composición de los ladrillos en el sistema CaO-SiO_2-Al_2O_3 (Figura 2), se observa que está situada en el campo de compatibilidad del cuarzo-wollastonita-anortita, es decir en zonas del sistema bastante ricas en calcio y que todas las muestras se sitúan en un intervalo de variación composicional pequeño.

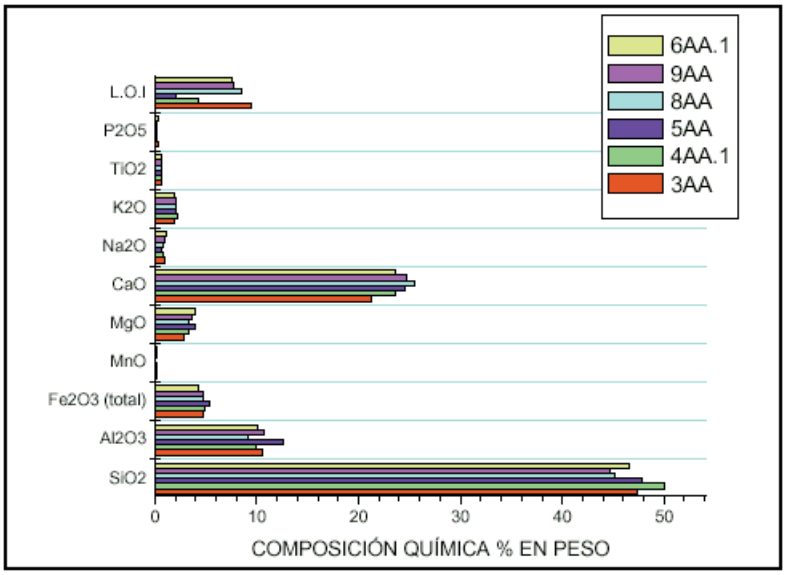


Figura 1. Composición química de los ladrillos obtenida por fluorescencia de rayos X.

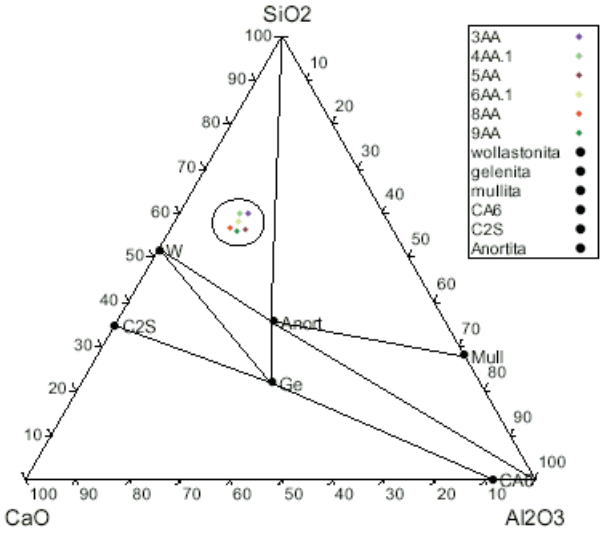


Figura 2. Representación de la composición de los ladrillos en el diagrama CaO-SiO_2-Al_2O_3.

MUESTRA	- CO_2		α→β Cuarzo	Tª fusión (ºC)
	Tª (ºC)	% $CaCO_3$		
3AA	797	21,58	No se detecta	1176
4AA	733	9,09	No se detecta	1184
5AA	708	3,55	No se detecta	1184
6AA	632	11,70	568ºC	1184
8AA	757	17,62	570ºC	1187
9AA	757	16,83	565ºC	1184

Tabla 2. Transformaciones térmicas en las curvas ATD/TG y cuantificación de $CaCO_3$.

IV.2. Análisis térmico diferencial y termogravimétrico (ATD/TG)

La Figura 3 muestra las curvas de ATD/TG de los ladrillos estudiados, mientras que en la Tabla 2 se detallan las reacciones y transformaciones observadas en las curvas.

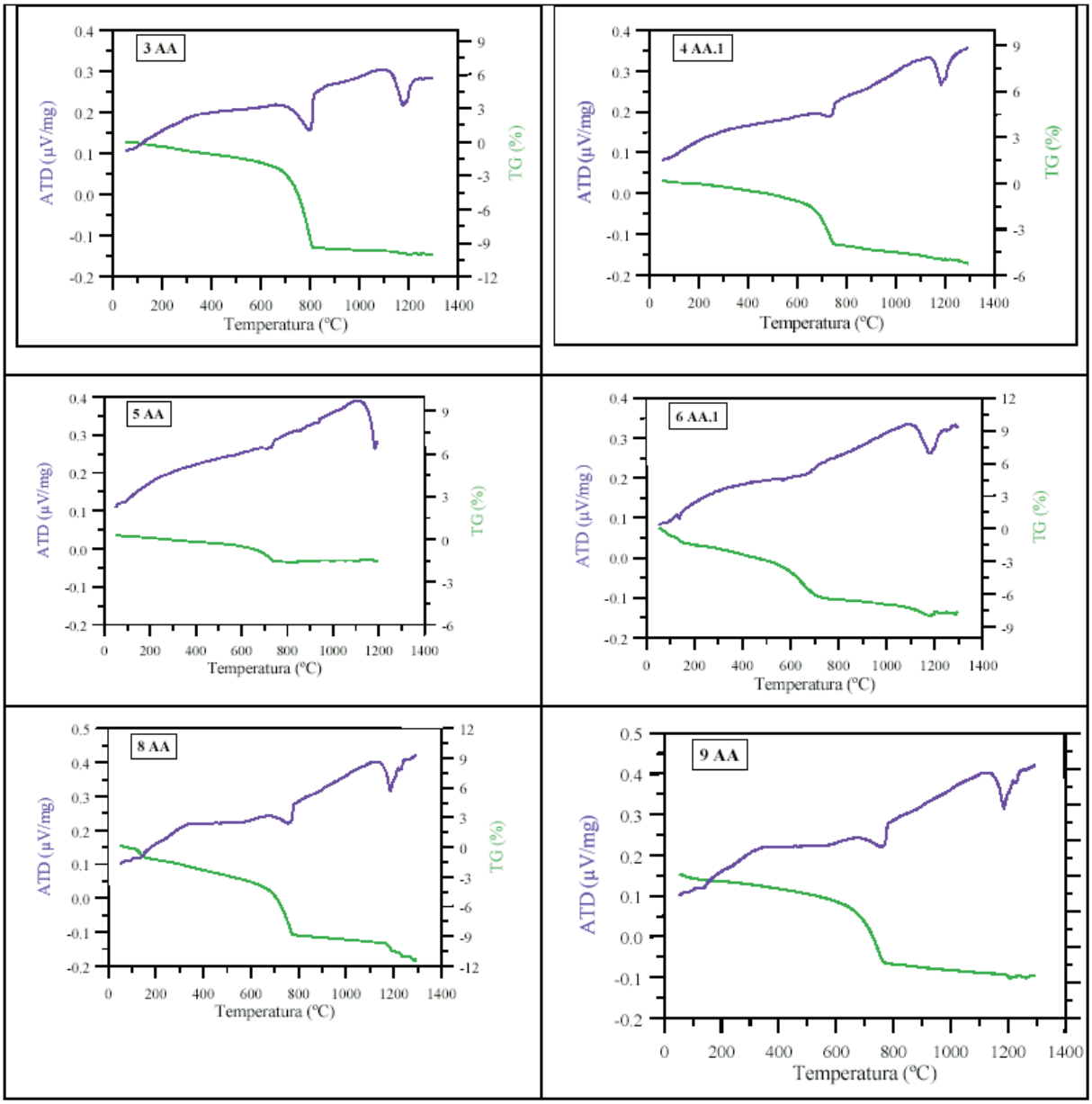


Figura 3. Curvas de transformación térmica obtenidas por ATD/TG.

Todas las muestras tienen un comportamiento térmico muy similar con curvas en las que se observan dos efectos endotérmicos. El primero tiene lugar en el intervalo de temperatura 632º-800ºC y corresponde a la pérdida de CO_2 por descomposición térmica de la calcita. En la Tabla 2 se presenta el contenido en

$CaCO_3$ de las muestras, calculado a partir de las curvas TG. Destacan las muestras 3AA y 5AA como las que contienen mayor y menor porcentaje en calcita respectivamente. Estos resultados son concordantes con los obtenidos tanto por análisis químico como por DRX (Figura 4). El segundo efecto endotérmico se produce hacia 1180ºC y es debido a la fusión de la muestra. De acuerdo con la bibliografía, en el sistema $CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2\text{-}R_2O$ existen puntos invariantes de fusión en el intervalo 800º-1200ºC.

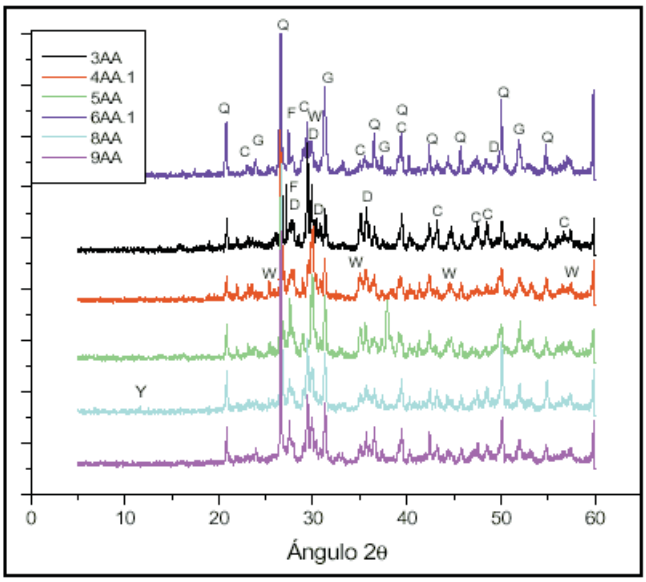


Figura 4. Difractograma de los ladrillos.
Y=yeso; G=gelenita; W=wollastonita; C=calcita; Q=cuarzo; D=diópsido; F=feldespatos.

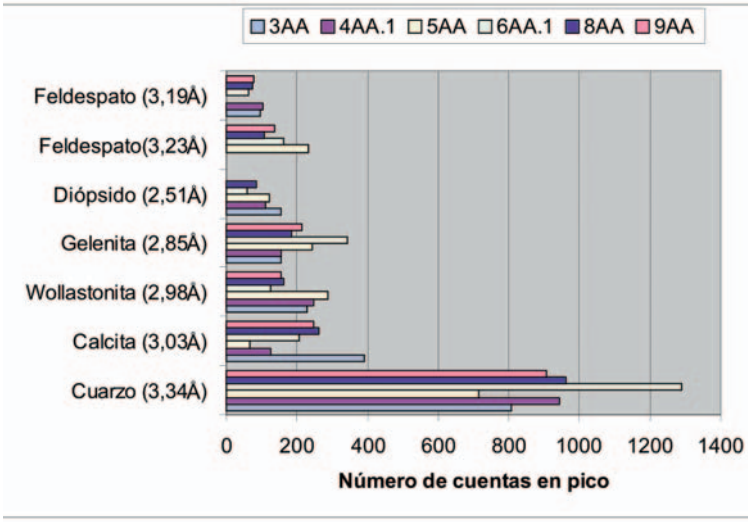


Figura 5. Intensidad de algunas líneas de difracción características de las fases mineralógicas identificadas en los ladrillos.

IV.3. Caracterización mineralógica por difracción de rayos X (DRX)

Las Figuras 4 y 5 muestran respectivamente los difractogramás de los ladrillos objeto de estudio y una representación cuantitativa del número de cuentas en determinados planos de difracción característicos de las fases cristalinas identificadas. Desde el punto de vista mineralógico, todos lo ladrillos tienen componentes cristalinos muy parecidos, en todos ellos la fase más abundante es el cuarzo, destacando las muestras 6AA.1 y 5AA como aquellas que lo contienen en mayor y menor proporción respectivamente. Todas ellas contienen además feldespatos de distinta naturaleza y en varias proporciones.

	3AA	4AA.1	5AA	6AA.1	8AA	9AA
Cuarzo	X	X	X	X	X	X
Calcita	X	X	X	X	X	X
Yeso	-	-	-	X	X	-
Wollastonita	?	X	X	?	X	X
Gelenita	X	?	?	X	X	X
Diópsido	?	?	?	X	?	X
Feldespatos	X	X	X	X	X	?
Nitratos	-	-	X	X	X	X

X = presencia; - = ausencia; ? = dudoso

Tabla 3. Fases mineralógicas identificadas en los ladrillos por FTIR.

La intensidad de las reflexiones, incluso las de las fases más abundantes no es elevada, la forma de los picos y el fondo del difractograma indican que la muestra contiene una proporción elevada de fases amorfas, no observables por DRX. Como fases de neoformación las muestras contienen wollastonita, gehlenita y diópsido. Las muestras contienen además calcita en diversas proporciones.

IV.4. Caracterización mineralógica por FTIR

En la Tabla 3 se indican las fases identificadas en las diferentes muestras. Todas ellas presentan en su composición carbonato cálcico en forma de calcita y cuarzo en mayor o menor proporción. Las muestras 5AA, 6AA.1, 8AA y 9AA tienen un pico agudo a 1384 cm^{-1} debido a la presencia de nitratos como impurezas en las muestras. También cabe destacar el gran solapamiento de las bandas del cuarzo y feldespatos con las de las tres fases de neoformación wollastonita, gehlenita y diópsido en la zona del espectro de vibraciones de tensión Si-O entre 900 y 1100 cm^{-1}.

Con respecto a las fases de neoformación wollastonita, gehlenita y diópsido, podemos indicar que todas las muestras presentan wollastonita y gehlenita, pero que se encuentra en diferente proporción. Así en las muestras 4AA.1, 5AA, 8AA y 9AA parece haber más wollastonita, mientras que en 3AA, y 6AA.1 hay más gehlenita. Ello lo observamos por la presencia de bandas agudas a 1020, 969, 933 y 903 cm^{-1} cuando la muestra tiene más wollastonita y bandas a 1050, 979 y 921 cm^{-1} cuando la muestra tiene gehlenita. El cuarzo presenta a su vez en esta zona intensas bandas de absorción 1160 y 1080 cm^{-1}, mientras que el diópsido absorbe en 1096 - 1080 y 970 cm^{-1}.

En la Figura 6 se muestra el espectro FTIR de los ladrillos 3AA y 9AA en los que se puede ver las diferencias en los mismos con respecto a las fases de neoformación.

Debido a este solapamiento de las bandas de cuarzo, wollastonita, y gehlenita en la zona de 1100-800 cm^{-1}, y con el fin de favorecer la identificación de las fases presentes se puede hacer un tratamiento mate-

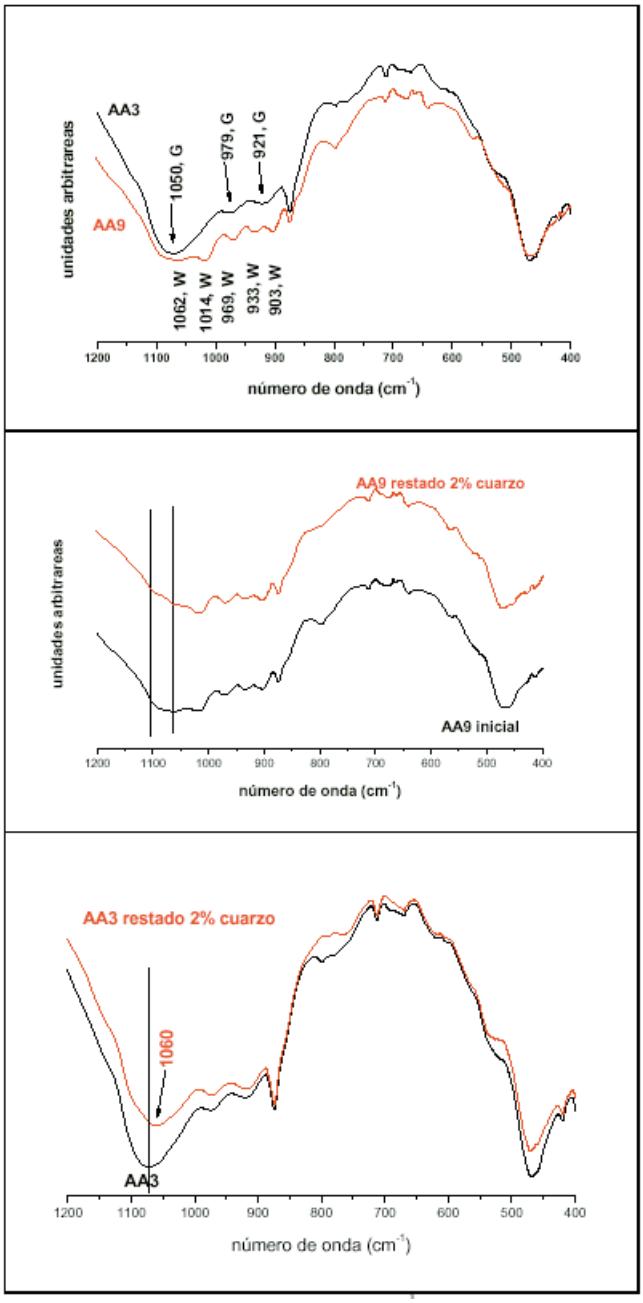


Figura 6. Espectros FTIR entre 1200 y 400 cm^{-1} de los ladrillos AA3 y AA9. G=gelenita; W=wollastonita.

	3AA	4AA.1	5AA	8AA	9AA	6AA1
Porosidad abierta (%)	43,1	43,6	44,8	43,6	41,8	40.4
Densidad real (g/ml)	2,6	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
Densidad aparente a 50psi (g/ml)	1,48	1,52	1,51	1,49	1,52	1,55
Diámetro medio de poro (µm)	2,5	7,9	2,3	3,7	2,4	1,9

Tabla 4. Porosidad abierta, densidad aparente y diámetro de poro de los ladrillos estudiados.

mático a los espectros para eliminar las bandas que solapen. En este caso se elimina el 2% de las bandas del cuarzo (Figura 6). En la muestra 9AA se produce un pequeño desplazamiento del máximo desde 1062 a 1058 cm^{-1} lo que podría indicar la presencia de gehlenita en la muestra y la aparición de un hombro a 1096 cm^{-1} que se puede atribuir a la presencia de diópsido. En el caso de la muestra 3AA con el 2% de cuarzo restado, la banda que estaba a 1050 cm^{-1} se desplaza a 1068 cm^{-1} lo que podría justificar la presencia de wollastonita.

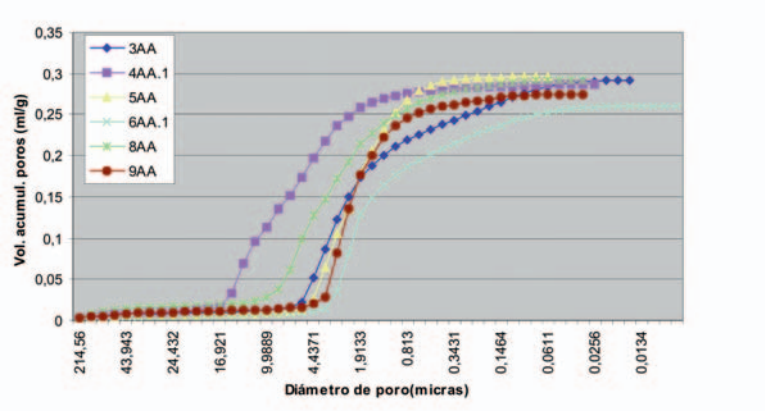


Figura 7. Volumen de poros acumulado en función de su diámetro.

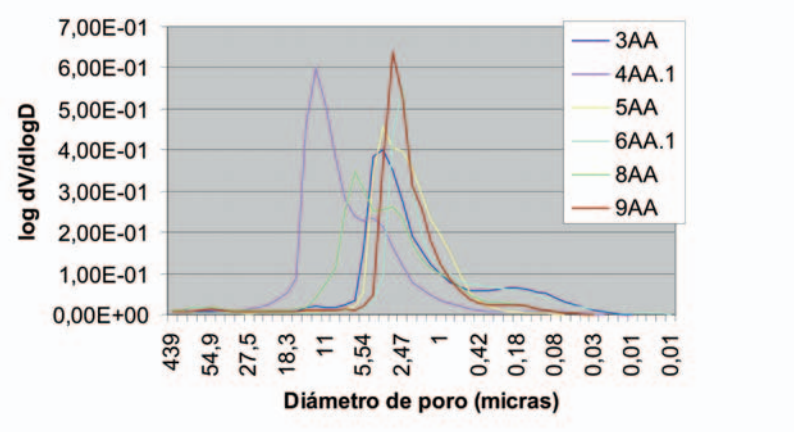


Figura 8. Distribución de tamaño de poros.

IV.5. Porosimetría

Los resultados de la medida de la porosidad de las muestras de ladrillo efectuados por la técnica de la porosimetría de mercurio se presentan en la Tabla 4 y las Figuras 7 y 8.

Todos los ladrillos presentan una porosidad elevada, situada entre el 40 y el 45% en volumen, siendo sus densidades real y aparente muy parecidas. Al representar el volumen acumulado en función del tamaño de poro (Figura 7) se observa que la muestra menos porosa y la que tiene menor volumen de poros de tamaño superior a 3,7 µm es la 6AA.1, mientras que la 4AA.1 tiene una porosidad similar a las demás pero el volumen de poros de tamaño superior a 3,7 µm es mayor del 70%.

En la Figura 8 se representa el diferencial del volumen de poros en función de su diámetro, en ella se destaca nuevamente la muestra 4AA.1 como aquella que tiene poros de mayor tamaño, así el 50% y el 95%

MUESTRA	Absorción de agua (%)
3AA	28,12
4AA	27,34
5AA	28,87
6AA	23,22
8AA	26,27
9AA	24,47

Tabla 5. Absorción de agua de los ladrillos estudiados.

del volumen de poros está formado por poros de diámetro superior a 7,9 µm y 1 mm respectivamente. Las muestras 8AA tiene un volumen total de poros igual a la 4AA.1, y su distribución por tamaños tiene al igual que la 4AA.1 dos modas, pero el tamaño de sus poros es inferior ya que el 50% y el 85% del volumen total de poros está formado por poros de diámetro superior a 3,7 µm y 1 mm respectivamente. El resto de las muestras tienen una distribución de tamaño de poro más parecida, y su tamaño medio es también similar excepto en la muestra 6AA.1 que es inferior.

La Tabla 5 recoge los valores de absorción de agua determinados según la Norma ASTM C373-88. Todos los ladrillos tienen una absorción de agua importante, coherente con su elevada porosidad abierta.

V. DISCUSION DE RESULTADOS

Los ladrillos objeto de estudio son muy similares en cuanto a composición química. Todos contienen entre el 45 y 50% de SiO_2; entre el 21 y 25% de CaO; entre el 10 y 12,6% de Al_2O_3 y en torno al 5% de Fe_2O_3. Los contenidos en óxidos alcalinos y en magnesia son menores pero también similares en las distintas muestras. Destacar el alto contenido en CaO de los mismos, lo que indica que se ha utilizado caliza como materia prima además de arcillas, arenas etc. Si comparamos el contenido en CaO con otros de Sevilla de la época almohade, Torre del Oro (Leguey *et al.,* 2001), se ve que son similares, por lo que es posible que las materias primas de estos ladrillos procedieran de la misma zona (materiales terciarios de la margen derecha del Guadalquivir próximos a Sevilla) (González García *et al.,* 1966).

En lo que respecta a su composición mineralógica son también similares entre sí, siendo el componente cristalino mayoritario en todos ellos el cuarzo; mencionar la muestra 6AA como la de mayor contenido en cuarzo. Todos ellos contienen calcita destacando las muestras 3AA, 8AA y 9AA que contienen entre el 21 y el 17% en peso de esta fase. La muestra 5AA se diferencia en este sentido de las demás ya que sólo contiene un 3,5% de calcita y es a su vez la que tiene menos cuarzo y más wollastonita y feldespato. Las muestra 4AA.1 y 6AA tiene proporciones de calcita entre el 9 y el 11%.

Como fases de neoformación producidas en el proceso de cocción cerámico se encuentran wollastonita, gehlenita y diópsido. Estas fases se producen por reacción en estado sólido de los óxidos ácidos SiO_2 y Al_2O_3 obtenidos en la activación térmica de las arcillas, el cuarzo, etc. con el CaO (y MgO en el caso del diópsido) que se forman tras la descarbonatación de las calizas.

Dado que en los ladrillos no se han encontrado reflexiones que indiquen la presencia de arcilla y que contienen fases cálcicas de neoformación, se deduce que la temperatura alcanzada en la cocción de los mismos ha sido superior a 850-900ºC, temperatura a la que se descompone térmicamente el $CaCO_3$, generando CaO que reaccionaría con los óxidos ácidos SiO_2; Al_2O_3, para dar la wollastonita, gehlenita, etc. De

los resultados de ATD se concluye que las muestras no han alcanzado en el proceso de cocción la temperatura de 1180ºC, en la cual se produce una fusión. Así pues, el márgen de cocción estimado sería 800-1100ºC. Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos por otros autores para los ladrillos de la época almohade del primer cuerpo de la Torre del Oro (siglo XIII) (Leguey *et al.,* 2001) en los que además coincide su aspecto y color con los aquí investigados.

La presencia de $CaCO_3$ en las muestras se debería entonces a la posterior carbonatación de las mismas o bien a restos de calcita en el corazón de granos muy gruesos presentes en las pastas.

VI. CONCLUSIONES

Respecto al procesado de los ladrillos de la fachada del Palacio de Pedro I de los Reales Alcázares de Sevilla puede decirse que no se han encontrado en el análisis mineralógico difracciones que indiquen la presencia mayoritaria de minerales de la arcilla residuales.

Contienen fundamentalmente fases de neoformación muy ricas en calcio (wollastonita y gehlenita fundamentalmente), por lo que las materias primas fueron fundamentalmente cálcicas y que la temperatura alcanzada ha debido superar los 800-850ºC ya que no se identifica calcita en estos ladrillos. De los resultados de Análisis Térmico (ATD) se concluye que en el proceso de cocción no se ha debido de llegar a los 1180ºC en el cual se produce una fusión o vitrificación de estos ladrillos. Por lo que la temperatura de cocción de los mismos debió de estar en el intervalo: 800-1100ºC.

Respecto al estudio comparativo de este tipo de ladrillos, se ha comprobado que tanto la composición química como el comportamiento térmico del ladrillo del murete sobre el alero (9AA) como el de la fachada sobre los arcos del lateral oriental (8AA) son entre ellos muy parecidos. En lo que respecta a su composición mineralógica, de acuerdo con los datos de DRX y FTIR, el ladrillo del murete sobre el alero (9AA) es más semejante al denominado 8AA antes mencionado que al del encintado inferior del tapial (muestra 3AA), ya que si bien las tres muestras contienen feldespatos, gehlenita y wollastonita , la difracción correspondiente a 0,323 nm del feldespato, no aparece en la 3AA, mientras que la fase piroxeno (diopsido) no lo contiene la muestra 9AA del murete antes mencionado.

Todas las muestras tienen porosidades reales y aparentes muy parecidas sin embargo se diferencian en el tamaño de los poros. La muestra 4AA.1 es la que tiene poros de mayor tamaño en tanto que la 6AA.1 es la menos porosa y la que tiene poros de menor diámetro. Las muestras 3AA, 5AA y 9AA tienen un diámetro medio de poro muy similar y es aproximadamente 1/3 del de la muestra 4AA.1.

Tanto la composición química como el comportamiento térmico del ladrillo 9AA son parecidas a las del 8AA. En lo que respecta a su composición mineralógica, de acuerdo con los resultados de DRX y FTIR el ladrillo 9AA es más parecido al 8AA que al 3AA, ya que si bien las tres muestras tienen el feldespato que corresponde a la difracción de 3,19Å, gehlenita y wollastonita, el feldespato a 3.23Å no lo tiene el 3AA y el diópsido no lo tiene el 9AA.

El color de los ladrillos es muy similar y se situa en la zona de rojo-amarillo tendente al amarillo. Las muestras 3AA, 8AA y 9AA presentan curvas de reflectancia casi idénticas, siendo su tono y viveza de color también parecidos (Rincón *et al.,* 2008b).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación de esta investigación por parte del Ayuntamiento de Sevilla, Patronato de los Reales Alcázares, así como a A. Almagro de la Escuela de Estudios Arabes del CSIC, Granada por la colaboración solicitada para esta investigación. Asímismo, se agradece a la Dra. Mª. I. Sanchez-Rojas del IETcc, CSIC por las medidas de color de los materiales de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

CHAVEZ, M.R. 2004: *El Alcázar de Sevilla en el siglo XIX (Revisión documental en archivos sobre restauracions llevadas a cabo en el siglo XIX).* Ed. Patronato del Real Alcázar. Excmo. Ayuntamiento de Sevilla: 175-220.

GONZALEZ GARCIA, F.; GARCIA RAMOS, G. 1966: "Arcilllas cerámicas de Andalucía. III. Yacimientos terciarios de la margen derecha del Guadalquivir en la provincia de Sevilla". *Bol. Soc. Esp. Ceram. V*. 5 (2): 229-245.

LAPUENTE, M.P.; RAMIREZ, P. 1994: "Estudio mineralógico y textural de los ladrillos de tres monumentos mudéjares de Calatayud (Zaragoza)". *Bol. Soc. Esp. Mineral.* 17 (1): 34-35.

LEGUEY, S.; CARRETERO, M.L.; FABBRI, B. y GALAN, E. 2001: "Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas". *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.* 40 (6): 455-459.

QUERALT, I. y RINCON, J. Mª. 2007: "Characterization of arabian ceramic glazes from the Palace of Pedro I (Sevilla, Spain) by non-destructive XRF technique". *TECHNART.* Edit. Universidade de Lisboa, abril. Lisboa: 167.

RINCON, J.Mª.; ROMERO, M.; BLANCO, Mª. T. y QUERALT, I. 2008a: "Caracterización microestructural y analítica de vidriados coloreados mudéjares (Fachada del Palacio de Pedro I, Sevilla)". *El Vidrio en la Alta Edad Media y Andalusí.* Edit. Fundación Centro Nacional del Vidrio. La Granja (Segovia): 273-288.

RINCON, J.Mª.; BLANCO, Mª. T.; SÁNCHEZ-ROJAS, Mª. I. y ROMERO, M. 2008b: "Colours from the glazed tiles inserted in the plaster Mudejar façade of Pedro I, Seville Royal Palaces". *Colours 2008: Briding Science with Art.* Ed. Colegio do Espiritu Santo, Evora: 28.

TABALES RODRIGUEZ, M.A.; ALMAGRO, A. 2005: *El Patio de las Doncellas del Palacio de Pedro I de Castilla Apuntes del Alcázar de Sevilla.* Edit. Excmo. Ayuntamiento de Sevilla nº: 6, mayo.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA IGLESIA DE STA. MARÍA DE LA HUERTA EN MAGALLÓN (ZARAGOZA)

CHARACTERIZATION OF BUILDING MATERIALS USED IN STA. MARÍA DE LA HUERTA'S CHURCH IN MAGALLON (ZARAGOZA)

J. IGEA[1], P. LAPUENTE[1], R. ALLOZA[2], P. MARZO[2] Y J.L. RECUENCO[3]

(1) Petrología y Geoquímica, Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza, España.
E-mail: jesigea@unizar.es, plapuent@unizar.es
(2) Laboratorio de Investigación de Bienes Culturales. Dirección General Patrimonio Cultural. Gobierno de Aragón.
(3) Laboratorio de Calidad para la Edificación. Departamento de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte. Gobierno de Aragón.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es caracterizar petrológica y mineralógicamente ladrillos y morteros procedentes de la Iglesia Mudéjar de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza). La complejidad del estudio radica en la confusa serie de etapas constructivas e intervenciones históricas llevadas a cabo en el monumento, sumado al estado ruinoso que presenta el templo a fecha de hoy. Todas las muestras han sido analizadas mediante microscopía óptica de polarización (MO) y difracción de rayos X (DRX) estableciéndose 3 grupos de ladrillos con características propias atendiendo a su diferente temperatura de cocción. En general, la composición de los distintos materiales de construcción resultó ser similar en todas las áreas seleccionadas independientemente de que se tratasen de conjuntos cronológicos diferenciados del monumento. Únicamente se han diferenciado 2 tipos distintos de mortero de enlucido que podrían estar relacionados con diferentes etapas constructivas.

ABSTRACT

The main goal of this work is the petrological and mineralogical characterization of bricks and mortars used in the Mudéjar church of Sta. Maria de la Huerta in Magallon (Zaragoza). The complexity of this study is caused by the confused sequence of constructive phases and old interventions executed on the building, to which the ruin state that the temple features nowadays must be added. The samples were analysed using polarizing optical microscopy (OM) and X-ray diffraction (XRD), establishing three main groups of bricks according to their different temperature of firing. The composition of the building materials resulted to be similar in each zone studied regardless of being from chronologically different parts of church. Only two different types of plastering mortars have been identified, which might be related with different building phases.

Palabras clave: Magallón, mudéjar, ladrillo, morteros, microscopio óptico, difracción de rayos X.

Key words: *Magallón, Mudejar, brick, mortars, optical microscopy, X-ray diffraction.*

I. INTRODUCCIÓN

La iglesia de Santa María de la Huerta también llamada de Nuestra Señora de la Huerta, es un templo mudéjar probablemente de mediados del siglo XIV (Borrás Gualis, 1967) que pasó a formar parte del convento que los Padres Dominicos fundaron en Magallón en el siglo XVII (Echarte, 1980). Fue declarado monumento nacional por Real Decreto de 22 de diciembre de 1982 y Patrimonio de la Humanidad conjuntamente con el resto del Patrimonio mudéjar aragonés, el 14 de diciembre de 2001.

Se encuentra situada en el límite sudeste del núcleo urbano de Magallón, localidad situada sobre la margen izquierda del río Huecha, en la comarca del Campo de Borja, provincia de Zaragoza (Figura 1). La explanada donde se ubica la iglesia es la zona más baja del municipio junto a la ribera del río. El edificio se asienta a la entrada del pueblo, bien visible desde la carretera, siendo su ábside una de las señas de identidad del municipio y comienzo privilegiado de la visita al mismo.

Figura 1. Situación geográfica del monumento objeto de estudio.

Descripción artística

La iglesia es un edificio de mampostería de ladrillo tomado con mortero de yeso y cal, con una volumetría importante. Consta de una sola nave de tres tramos, con cabecera en forma de ábside poligonal de 7 lados sin contrafuertes (Figura 2). El último tramo de la nave se sitúa entre dos torres de planta rectangular que enmarcan el hastial. Los muros laterales están flanqueados por los dos contrafuertes que rematan el ábside, por las dos torres situadas a los pies de la nave y por un contrafuerte intermedio a cada lado. Entre esos contrafuertes y las torres se abren dos capillas a cada lado cubiertas con bóveda de cañón apuntado. Los dos primeros tramos de la nave y el ábside poligonal se cubrían con bóvedas por arista, de las que sólo quedan los arranques. El último tramo, situado entre las torres y de menor longitud, estaba cubierto con bóveda de cañón ligeramente rebajada, resultado de alguna ampliación motivada por el más que seguro hundimiento del alfarje que en su día debió cubrir el coro y la galería.

Decoración

La mayor parte de la decoración de ladrillo mudéjar se sitúa en el ábside, habiendo llegado a nosotros en aceptable estado de conservación. Los siete paños contienen grandes lienzos decorados en la zona media y alta, enmarcando los ventanales, mientras que la parte baja es lisa. Los frisos situados bajo los

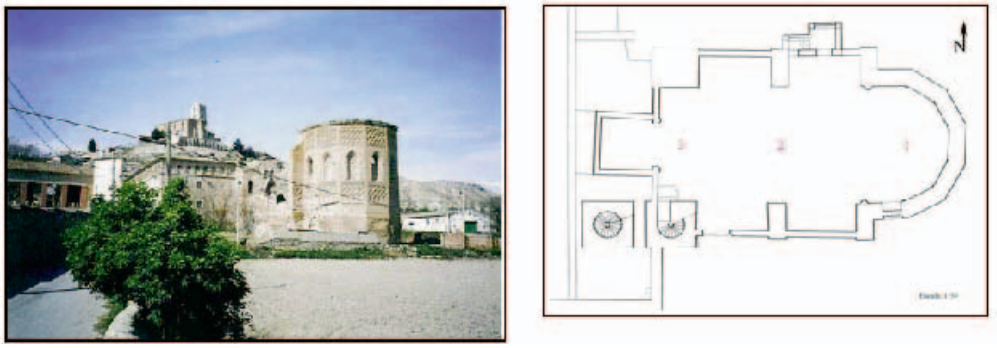


Figura 2. A) Vista general de la Iglesia de Sta. María de la Huerta con el ábside en primer plano. B) Planta del edificio.

ventanales están decorados con arcos polilobulados entrecruzados y los de la parte superior con cruces de múltiples brazos formando rombos. Además se intercalan diversas bandas decoradas con esquinillas y los muros se rematan con modillones (Figura 3). De la decoración de ladrillo que se conserva en la torre sur destacan la banda de rasillas en zig-zag y los lienzos de cruces formando rombos, distintas a las utilizadas en el ábside.

La decoración en yeso tallado es lo más interesante de la ornamentación de la iglesia (Borrás Gualis, 1985). Los ventanales del ábside se cierran con celosías de yeso tallado de tres modelos distintos. Todas incluyen 3 columnillas con basa y capitel rematadas por arcos apuntados y un óculo central. Los paños contienen diseños geométricos y ornamentación vegetal que cubren incluso los capiteles (Figura 4). También son de enorme interés los esgrafiados policromados sobre el enlucido de yeso en el interior de los muros, en especial los paños a base de entrelazado mixtilíneo.

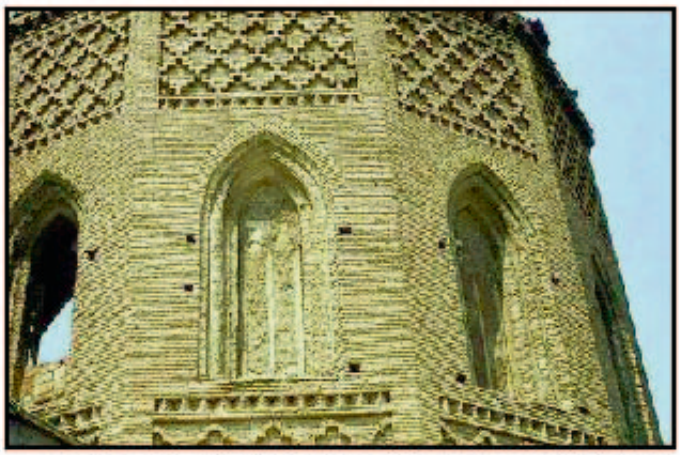


Figura 3. Detalle de la decoración de ladrillo en el ábside. Dicha decoración se compone de frisos con cruces de múltiples brazos formando rombos en la parte superior y arcos polilobulados entrecruzados en los frisos situados bajo los ventanales.

Figura 4. Ventanal del ábside cerrado con celosía de yeso. Consta de tres columnillas con basa y capitel rematadas por arcos apuntados y un óculo central.

II. ESTADO ACTUAL

Actualmente el antiguo templo mudéjar puede considerarse en estado de ruina. Del edificio sólo queda en aceptable estado de conservación el ábside, aunque también se mantienen en pie el hastial, un buen tramo de la torre sur, parte de la torre norte y los muros laterales hasta la altura de las capillas, con una

de las bóvedas apuntadas. Recientemente el monumento ha sido objeto de estudio para su consolidación y adecuación encontrándose en la actualidad en distintas fases de trabajo (Mata Solana y Genua Díaz de Tuesta, 2005).

Intervenciones históricas

Podríamos destacar 2 etapas diferenciadas en el tiempo en las que se concentraron la mayor parte de las intervenciones llevadas a cabo en el templo. La primera de ellas tuvo lugar cuando la iglesia pasó a formar parte del convento de los Padres Dominicos en el siglo XVII. En el muro oeste, los ventanales centrales originales fueron convertidos en una gran abertura de arco rebajado. En esa misma fachada se abrió un gran paso con embocadura enmarcada por un pórtico barroco hacia una capilla también barroca. Además, en la fachada norte quedan restos de una pequeña capilla adosada a una cota más elevada respecto al nivel interior de la iglesia. Durante el siglo XX se han sucedido una serie de intervenciones en el edificio siendo una de las más actuales la llevada a cabo en los años 80 (Navarro y Valero, 1985), en la que se procedió a la reconstrucción de tres bóvedas sobre las capillas tomadas con mortero de cemento, a la eliminación de edificaciones anexas y a la realización de una serie de reparaciones en la mampostería de ladrillo.

III. METODOLOGÍA

Para este estudio se realizó un muestreo exhaustivo del material de construcción tanto fresco como alterado procedente de conjuntos diferenciados del monumento, recogiéndose un total de 39 muestras; 19 de ladrillo, 9 de mortero de juntas y 11 de mortero de enlucido. Respecto a estas últimas, ha sido posible diferenciar en la zona del hastial una secuencia estratigráfica de al menos 2 enlucidos superpuestos.

Previo a la caracterización petrográfica-mineralógica se ha realizado la descripción macroscópica de los distintos materiales mediante lupa binocular. El estudio petrográfico se ha realizado con un microscopio óptico de polarización, modelo Olympus AX70 con equipo de microfotografía. Las láminas delgadas se han elaborado con direcciones de corte perpendiculares a los bordes de los fragmentos, previamente embutidos en una resina fluorescente. A las láminas se les aplicó la tinción mixta con alizarina roja para la distinción de los carbonatos.

De forma complementaria se ha efectuado el análisis mineralógico mediante difracción de rayos X por el método de polvo convencional. Los registros difractométricos se han obtenido en un equipo Siemens modelo D-5000 con rendijas fijas, utilizando radiación de Cu Kα y unas condiciones de trabajo de 40Kv y 30mA. Previamente la muestra se redujo a polvo empleando un mortero de ágata y tamizando por debajo de 63 µm.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción macroscópica

Todos los ladrillos muestreados presentan *de visu* unas características similares. Son ladrillos macizos, aplantillados y con unas dimensiones que varían para la soga entre 34-35 cm, de tizón 15-16 cm y de grueso entre 4-5 cm. La matriz es homogénea y porosa observándose en ocasiones precipitación de yeso de tamaño milimétrico en los poros. La tonalidad es la característica de mayor diferenciación de las piezas, distinguiéndose coloraciones que oscilan entre el amarillo y el rojizo (Figura 5).

Tanto el mortero de juntas como el de enlucido son de composición predominantemente yesífera. El mortero de juntas presenta una tonalidad preferentemente grisácea, distinguiéndose entre los agregados ver-

sicolores cenizas, fragmentos cerámicos e impurezas de yeso sin moler con un tamaño medio de 1,5 mm. Respecto al mortero de enlucido, el color varía entre el blanquecino y el grisáceo y presenta en ocasiones una película superficial anaranjada. Es un mortero liso y consistente y de grano más fino que el mortero de juntas.

Figura 5. Mampostería de ladrillo del edificio en la que pueden observarse las diferentes tonalidades de las piezas cerámicas.

Petrología y Mineralogía

Ladrillo

Las características petrográficas de todos los ladrillos analizados son muy similares. En conjunto, el análisis de las láminas delgadas ha puesto de manifiesto que la totalidad de las piezas presenta inclusiones de litología variada con un tamaño de grano que oscila entre el limo grueso (>0.0156 – 0.0624mm), y la grava (>2mm), y una proporción de inclusiones en torno al 15% respecto a la matriz.

Las inclusiones están constituidas mayoritariamente por cuarzo monocristalino y proporciones inferiores de feldespatos (potásico y plagioclasas), fragmentos de rocas cuarcíticas, areníticas y carbonatadas, micas y óxidos de hierro-minerales opacos, identificándose en algunas piezas nódulos arcillosos (Figura 6a) y/o carbonatados. Las morfologías de las inclusiones varían de angulosas a subangulosas para el cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos silíceos y de subangulosas a subredondeadas para los fragmentos y nódulos carbonatados y arcillosos. La matriz tiene una composición arcilloso-micácea rica en óxidos de hierro-minerales opacos. La porosidad es variable y se presenta fundamentalmente en forma de vacuolas de desgasificación o porosidad lineal. En ocasiones se encuentra tapizada por carbonato o yeso secundarios (Figura 6b).

El estudio mineralógico corrobora las observaciones realizadas al MO. La paragénesis mineral identificada mediante DRX, incluye mayoritariamente al cuarzo y proporciones menores de feldespatos, calcita, micas y hematites. Como fases de neoformación producto del proceso de cocción se han detectado diópsido, gehlenita y anortita. Esta asociación es frecuente en materiales cerámicos producidos a partir de arcillas ricas en calcio (Peters e Iberg, 1978; Riccardi *et al.,* 1999). En todas las muestras se ha identificado yeso en mayor o menor proporción. Su presencia, es debida a recristalizaciones procedentes de procesos de disolución de los morteros de unión de juntas (Lapuente *et al.,* 1995). Además, es preciso advertir que parte de la calcita detectada mediante difracción de rayos X es producto de precipitación secundaria, cuya presencia puede inferirse junto con la de recristalización de yeso, por observación de la porosidad de la pieza bajo el MO (Lapuente *et al.,* 1995) (Figura 6b).

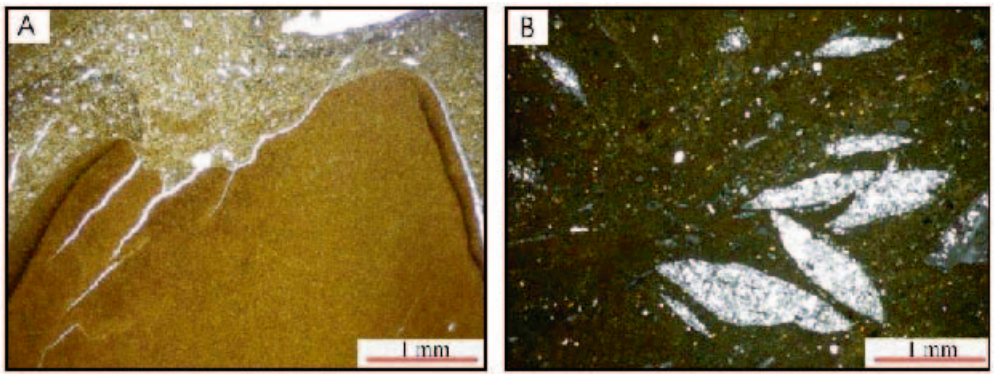


Figura 6. Microfotografías de ladrillos tomadas al microscopio óptico (nicoles paralelos). A) Nódulo arcilloso de gran tamaño en la que se observan grietas de retracción y B) recristalización de yeso secundario en la porosidad del ladrillo.

Se han establecido agrupaciones de muestras atendiendo a variaciones en la tonalidad de las piezas, comportamiento óptico (y en especial su birrefringencia) y características texturales de la matriz, presencia o no de determinadas inclusiones, así como las fases minerales obtenidas por DRX. En la tabla 1 se expresan las características distintivas de los 3 grupos de piezas diferenciados.

GRUPO	COLOR	CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS	FASES MINERALÓGICAS (DRX)
I	Rojo	Textura: Inhomogénea, bandeada Matriz: anisótropa birrefringente Inclusiones de frg. r. carbonatadas	*Primarias:* Cuarzo-Calcita-Fto-Micas *Secundarias:* Yeso *Neoformación:* Gehlenita
II	Rosado I Anaranjado	Textura: Inhomogénea, zonación de color. Matriz: lig. birrefringente Presencia de nódulos de carbonato semidescompuesto	*Primarias:* Cuarzo-Fto-Micas *Secundarias:* Yeso - Calcita *Neoformación:* Gehlenita-Diópsido-Anortita
III	Amarillo	Textura: Homogénea Matriz: isótropa Ausencia de frg. r. carbonatada ni nódulos semidescompuestos	*Primarias:* Cuarzo-Fto *Secundarias:* Yeso - Calcita *Neoformación:* Diópsido - Anortita

Tabla 1. Características petrográficas distintivas y fases mineralógicas detectadas mediante DRX, relacionadas con el color de las piezas en los grupos de ladrillos establecidos.

Además, de la información combinada entre las observaciones macroscópicas, características petrográficas y las fases cristalinas detectadas por DRX, pueden concretarse aspectos sobre las condiciones de cocción de las muestras.

Así, los ladrillos de tonalidad rojiza (grupo I), se caracterizan por presentar una matriz anisótropa birrefringente y presencia de inclusiones de fragmentos de rocas carbonatadas (Figura 7a). En esta agrupación se encuadran muestras en las que se detecta mediante DRX, la coexistencia de calcita y micas con gehlenita, con otras en las que no se identifican minerales de neoformación (Figura 8). La temperatura de cocción estimada se encontraría en torno a 800-850ºC. Los ladrillos del tipo II tienen colores rosáceos-anaranjados y muestran una matriz con leve birrefringencia, además de presencia de inclusiones de nódulos

carbonatados parcialmente descompuestos al MO (Figura 7b). Su temperatura y/o tiempo de cocción es superior a la del grupo anterior debido a la neoformación de diópsido, pero sin llegar a alcanzar los 950ºC, ya que todavía persisten las micas/illitas (Figura 8) (Peters e Iberg, 1978; Cultrone *et al.,* 2001). Por último, las piezas con tonos amarillo-crema (grupo III), presentan una matriz completamente isótropa con textura homogénea y ausencia de inclusiones carbonatadas (Figura 7c). El silicato neoformado predominante detectado mediante DRX es el diópsido, lo que se corresponde con el aumento de las plagioclasas (anortita) y la desaparición de micas/illitas y gehlenita (Figura 8). La temperatura y/o tiempo de cocción de estas piezas es la más alta, (superior a 950ºC).

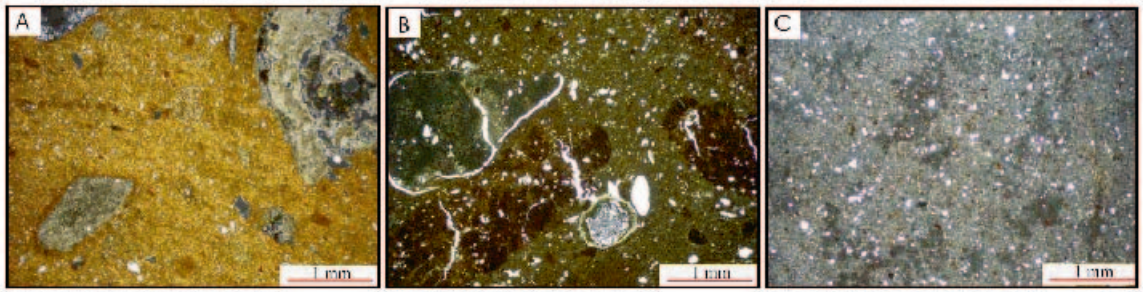


Figura 7. Microfotografías representativas (nicoles paralelos) de los grupos petrográficos de ladrillos descritos: A) Grupo I: Se observan fragmentos de roca carbonatada englobados en una matriz birrefringente. B) Grupo II: Matriz con zonación de color y presencia de nódulos carbonatados (izqd.). C) Grupo III: Matriz isótropa con textura homogénea y ausencia de fragmentos de roca carbonatada.

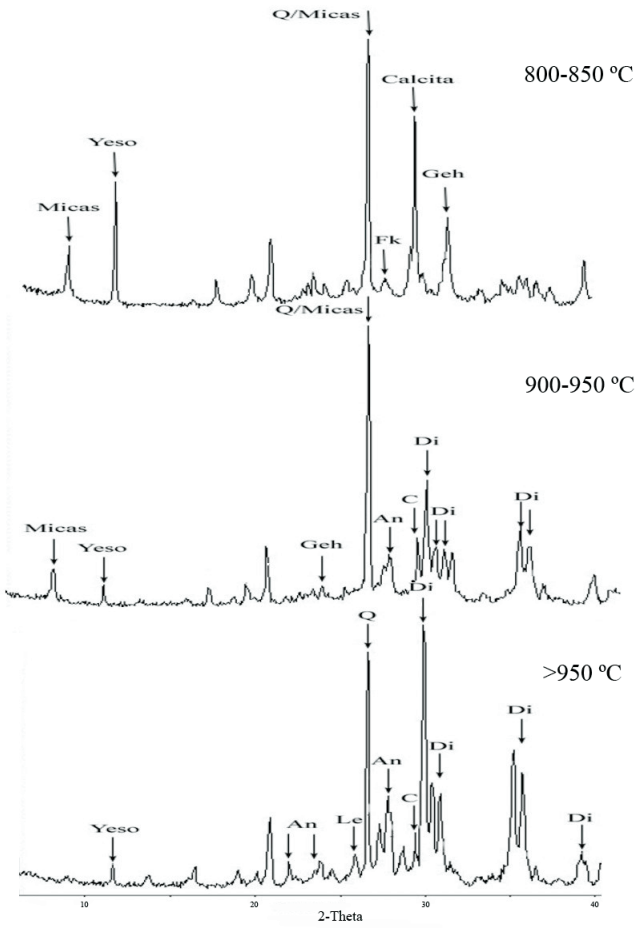


Figura 8. Difractogramas representativos de los 3 grupos de ladrillos establecidos en función de la temperatura de cocción.

Mortero

Todas las muestras de **mortero de juntas** presentan una composición fundamentalmente yesífera en forma de pasta microcristalina, con una muy baja proporción de cal. La proporción de árido/ligante en las muestras es realmente muy baja, ya que se sitúa en torno al 10-15% en todos los casos estudiados. La porosidad es variable, guardando una relación directamente proporcional con la degradación del mortero.

La composición del árido es muy variada, pero mayoritariamente constituida por impurezas de yeso en forma de agregados de tamaño variable (arena-grava) con morfologías lenticulares y fibrosas (Figura 9). Además en muy baja cantidad presenta cuarzo monocristalino (limo grueso-arena media (>0.25 – 0.499mm)) y fragmentos líticos de rocas cuarcíticas, areníticas y carbonatadas de tamaño arena. En algunas muestras se observan también fragmentos arcillosos y chamotas de tamaño limo grueso-arena.

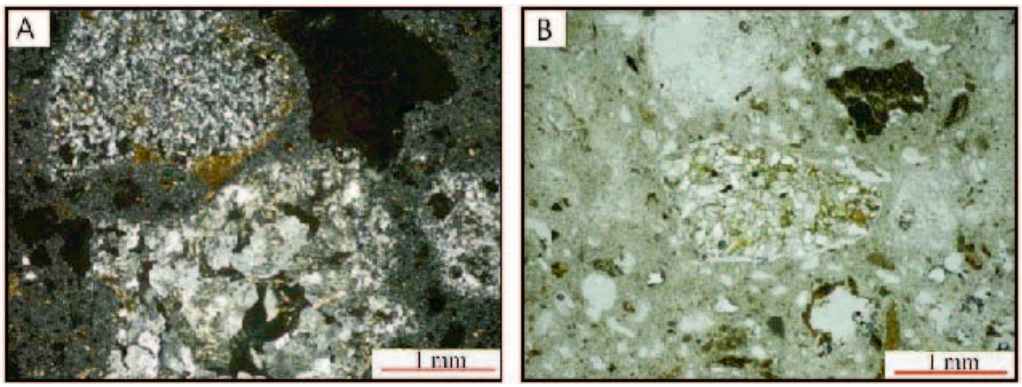


Figura 9. Microfotografías de muestras de mortero de juntas. A) Agregados de yeso incocido de tamaño grava y morfología variable (nicoles cruzados. B) Árido de composición arenítica (centro) y fragmento dechamota (nicolesparalelos).

Respecto al mortero de enlucido, se caracteriza por tener tanto aglomerante como árido similares composicionalmente al mortero de juntas. Texturalmente, es un mortero de grano más fino que el de juntas ya que el árido no supera el tamaño medio de arena. La porosidad es abundante y presenta siempre un diámetro medio de poro menor que el observado en el mortero de juntas.

Se distinguen al menos 2 tipos distintos de mortero de enlucido coincidentes con la secuencia estratigráfica definida en el muestreo (Figura 10); El tipo I ó más antiguo, se caracteriza por un árido fundamentalmente arcilloso con un tamaño máximo de arena gruesa y en baja proporción (15-20%). Por otro lado, el tipo II que se superpone al anterior, tiene una mayor proporción relativa de árido/ligante de naturaleza fundamentalmente cuarcítica y de tamaño arena.

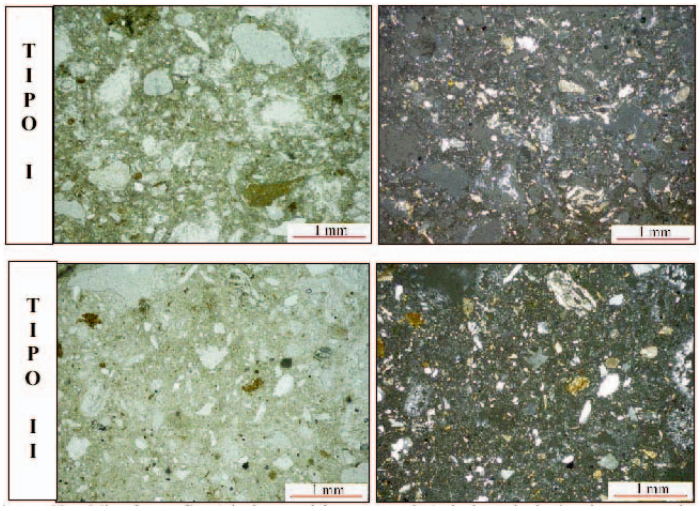


Figura 10. Microfotografías (nicoles paralelos y cruzados) de las tipologías de mortero de enlucido diferenciadas en la investigación. Tipo 1: Árido fundamentalmente arcilloso y en baja proporción (~15%). Tipo 2: Árido principalmente cuarcítico y en mayor proporción.

Por otra parte, el estudio mineralógico de las muestras mediante DRX revela que ambos tipo de morteros presentan una asociación mineral similar. Se han representado conjuntamente los resultados correspondientes a tres fracciones granulométricas de ambos morteros (Tabla 2), poniéndose de manifiesto la presencia de yeso como componente mayoritario y proporciones menores de anhidrita, carbón y cuarzo. Como puede observarse en la tabla y en los difractogramas adjuntos (Figura 11), no existen grandes diferencias entre las muestras ni entre las diferentes fracciones. Únicamente es característica la detección en algunos casos de calcita y filosilicatos tipo illita, aunque no debiera utilizarse como único criterio discriminante para la diferenciación de tipos distintos de mortero.

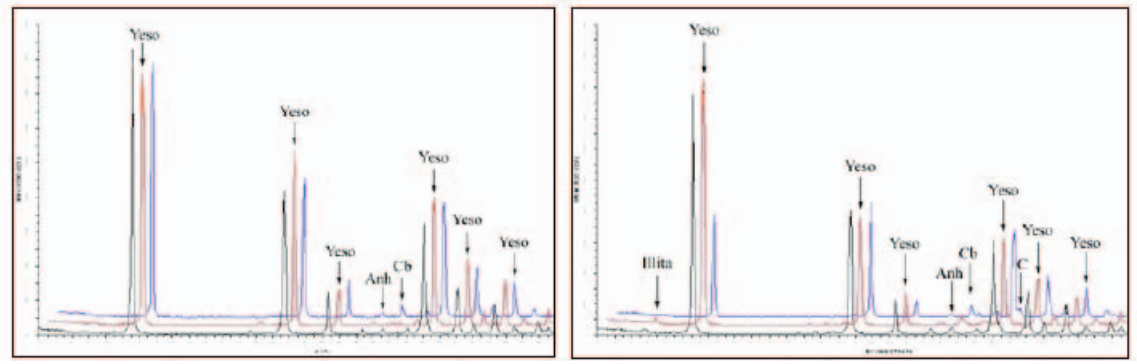


Figura 11. Difractogramas de muestras de mortero en los que se aprecian las distintas fases mineralógicas detectadas en las 3 fracciones granulométricas diferenciadas (Φ ≥250 µm, 250 µm≥ Φ ≥125 µm, Φ ≤63 µm). Anh = Anhidrita, Cb = Carbón, C = Calcita.

TIPO DE MORTERO		Φ ≥250 µm	250 µm≥ Φ ≥125 µm	Φ ≤63 µm
Juntas	Mayoritario	Yeso		
	Otros	Anhidrita, Carbón /Cuarzo		
Enlucido	Mayoritario	Yeso		
	Otros	Anhidrita, Carbón /Cuarzo, Calcita		
		Illita	Illita	---
Enlucido	Mayoritario	Yeso		
	Otros	Anhidrita, Carbón /Cuarzo, Illita		

Tabla 2. Resultados de los análisis de DRX para los morteros respecto a las 3 fracciones granulométricas diferenciadas.

V. CONCLUSIONES

- A partir del estudio petrológico-mineralógico se han diferenciado tres grupos principales de ladrillos de características composicionales similares entre sí independientemente de la cronología del área estudiada.

  Las variaciones texturales, el comportamiento óptico de la matriz y, principalmente, las condiciones de cocción estimadas a partir de la composición mineralógica de las piezas, son los mejores criterios para diferenciar los distintos tipos de ladrillos existentes en el monumento. Dichos criterios discriminantes se encuentran estrechamente relacionados con las variaciones cromáticas observadas a nivel macroscópico en los grupos establecidos.

La materia prima utilizada en la elaboración de todas las muestras cerámicas fue una arcilla ilítica rica en carbonatos y óxidos de hierro-minerales opacos. La naturaleza de las inclusiones presentes en los ladrillos corresponde con las habitualmente representadas en un depósito arcilloso natural. Petrológicamente, las variaciones texturales de la matriz, en ocasiones bandeada y con zonación de color, sumado a la presencia de abundantes pellas arcillosas en la mayoría de las piezas, denotaría una deficiente fabricación del material cerámico. Aspectos todos ellos que indican un proceso de manufactura en el que existe una buena selección de las materias primas pero falla la mezcla y el moldeo, con una cocción heterogénea.

Atendiendo a la paragénesis mineral, la temperatura de cocción determinada oscila entre los 800ºC para los ladrillos con coloración predominantemente rojiza y temperaturas superiores a los 950ºC para las muestras con tonalidades amarillentas.

Los 3 grupos de ladrillos establecidos en la investigación presentan unas características composicionales y texturales prácticamente constantes en todas las zonas estudiadas, por lo que tampoco se descarta que hayan sido reutilizados en las distintas intervenciones llevadas a cabo en el edificio.

- Respecto al mortero de juntas, todas las muestras presentan una composición y textura prácticamente constantes en el conjunto de áreas estudiadas; mezcla de yeso pulverulento, baja o nula proporción de cal y escasos áridos. La presencia de agregados de yeso de tamaño milimétrico podrían ser impurezas de yeso originadas por la deficiente molienda de la materia prima. Este hecho, unido a la detección de impurezas de cenizas carbonosas procedentes del horno de cocción, indican la utilización de un mortero de unión entre las piezas cerámicas en general de baja calidad.

  En general, el resto de áridos son frecuentes en los depósitos de materia prima yesífera, excepto los fragmentos de chamota, que por su contenido insignificante no parecen haber sido añadidos intencionadamente a la pasta.

  El mortero de enlucido es composicionalmente similar al mortero de juntas, pero realizado con una tecnología de producción más elaborada. El mayor cuidado en la selección de material se une a la utilización de un árido texturalmente de grano más fino debido al mejor proceso de molienda de la materia prima.

  Destacar la ventaja del uso del MO como técnica que permite establecer diferencias composicionales y texturales, frente a otras estrictamente composicionales. El estudio petrográfico junto con la reconstrucción *in situ* de la secuencia estratigráfica, ha permitido la diferenciación de dos tipos de enlucido que responden a distintas etapas constructivas llevadas a cabo en el edificio.

  El tipo I correspondería a un enlucido mudéjar aplicado durante la construcción de la iglesia, mientras que el tipo II sería posterior y seguramente empleado por los Padres Dominicos en alguna de las intervenciones que llevaron a cabo en el templo a partir del siglo XVII.

BIBLIOGRAFÍA

BORRÁS GUALIS, G. 1967: “La arquitectura mudéjar aragonesa: Iglesia de dominicos de Magallón (Zaragoza)”. *Al-Andalus* vol. XXXII, fasc.2: 399-414.

BORRÁS GUALIS, G. 1985: *Arte mudéjar aragonés.* Vol. II. Caja de Ahorros de Zaragoza, Aragón y La Rioja. Zaragoza: 202-208.

CULTRONE, G.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; SEBASTIÁN, E.; CAZALLA, O.; DE LA TORRE, M.J. 2001: “Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing”. *European Journal of Mineralogy* 13: 621-634.

ECHARTE, P. 1980: “Presencias dominicas en la comarca de Borja”. *Cuadernos de Estudios Borjanos* 6: 139-156.

LAPUENTE, P.; RAMÍREZ, M.P.; CLARK, P. 1995: “Caracterización de ladrillos de Monumentos Mudéjares en Calatayud, Zaragoza. Composición mineralógica y datación por termoluminiscencia”. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 18: 41-54.

MATA SOLANA, F.; GENUA DÍAZ DE TUESTA, B. 2005: *Proyecto de consolidación y adecuación de las ruinas de la Iglesia de Sta. María de la Huerta en Magallón (Zaragoza).* Excmo. Ayuntamiento de Magallón. Zaragoza.

NAVARRO, P.; VALERO, J.M. 1985: *Proyecto de Rehabilitación del Convento PP. Dominicos de Magallón.* Excma. Diputación Provincial de Zaragoza. Unidad de Planeamiento.

PETERS, T.; IBERG, R. 1978: “Mineral changes during firing of calcium rich brick clays”. *American Ceramic Society Bulletin* 57: 503-509.

RICCARDI, M.P.; MESSIGA, B.; DUMINICO, P. 1999: “An approach to the dynamics of clay firing”. *Applied Clay Science* 15: 393-409.

DETERIORO DE SILLARES GRANÍTICOS EMPLEADOS EN UN EDIFICIO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE A CORUÑA (ESPAÑA)

DETERIORATION OF GRANITE ASHLARS EMPLOYED IN A HISTORIC BUILDING IN THE CITY OF A CORUNA (SPAIN)

JORGE SANJURJO SÁNCHEZ[1], JUAN RAMÓN VIDAL ROMANÍ[1],
CARLOS ALBERTO SIMÕES ALVES[2], DANIEL FERNÁNDEZ MOSQUERA[1]

(1) Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal". Universidade da Coruña.
(2) Núcleo de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos.
Universidade do Minho. Braga, Portugal.

RESUMEN

Las rocas graníticas, utilizadas como material de construcción en edificios del Patrimonio Histórico están expuestas a procesos de deterioro que incrementan su porosidad. Los estudios comparativos del deterioro en superficies naturales y sillares de roca granítica han sido escasos y normalmente se atribuye a factores extrínsecos en ambos casos. Pocos trabajos han considerado el estado de deterioro de la roca en la cantera de origen. En este trabajo se estudia el deterioro de un tipo de granito (leucogranito de San Pedro) empleado en la construcción de edificios históricos de la ciudad de A Coruña. El estudio de la porosidad de la roca de sillares de edificios y de las canteras de origen, sugieren que el elevado grado de deterioro en monumentos está relacionado con el empleo de roca ya meteorizada. De hecho, las características intrínsecas de la roca explican la existencia de un avanzado estado de deterioro.

ABSTRACT

The granitic rocks, used as building materials in Heritage buildings are exposed to erosion processes that increase their porosity. Comparative studies of the decay in natural surfaces and granitic rock ashlars, has been limited and is usually attributed to extrinsic factors in both cases. Few studies have considered the deteriorating state of rock in the quarry. This paper explores the deterioration of a type of granite (leucogranito de San Pedro) used in the construction of historical buildings in the city of A Coruna. The study of the porosity of the rock ashlars of buildings and original quarries, suggest that the high degree of decay in monuments is related to the use of weathered rock. Indeed, the intrinsic characteristics of the rock explain the existence of an advanced decay.

Palabras clave: rocas graníticas, patrimonio, sillares, deterioro, porosidad, meteorización.

Key words: *granitic rocks, heritage, ashlars, decay, porosity, weathering.*

I. INTRODUCCIÓN

Las rocas graníticas se ven sometidas a procesos de meteorización y deterioro, precursores de la erosión, determinados por factores intrínsecos propios de la roca y extrínsecos propios del medio que las rodea. Los factores intrínsecos son aquellos que refieren a sus características mineralógicas, textura, discontinuidades y estructuras minerales que condicionan la meteorización. Los factores extrínsecos, principalmente el clima, se relacionan con la acción que producen la temperatura y la humedad, que determinan el tipo y tasa de meteorización. Sin embargo, la meteorización de rocas empleadas como material de construcción se considera un caso particular de meteorización debido a que su estudio requiere considerar otros factores. El empleo de roca de mala calidad o defectuosa (con heterogeneidades y/o abundante fisuración consecuencia de su historia petrogenética/tectónica) como material de construcción facilitan su degradación en el patrimonio construido (Iñigo *et al.,* 1994). A pesar de ello, su uso es frecuente debido a su mayor facilidad de labrado lo que favorece la aparición de erosiones diferenciales en materiales o capas más blandas provocando una prematura degradación (Matias y Alves, 2002). Además, la historia de cada construcción puede tener repercusiones en el deterioro de los sillares de roca (reconstrucciones, malas cimentaciones con reparto irregular de cargas, fatiga de materiales, etc.). De hecho, un factor importante es el empleo de materiales pétreos aglomerantes (Álvarez de Buergo y González-Limón, 1994) como hormigones, morteros, revocos y enlucidos, con características físicas y químicas muy diferentes a las de las rocas graníticas.

Generalmente, los efectos mas visibles de la erosión son la desagregación granular, arenización, desplacamiento, descamación superficial o alveolización. Sin embargo, la meteorización tiene una serie de efectos previos menos visibles, precursores de los anteriores como la fisuración. De hecho, la porosidad y permeabilidad en granitos son muy bajas y sólo aumentan con la fisuración y fracturación de la roca que constituye su permeabilidad secundaria, que añade la capacidad de transmitir fluidos. Esta porosidad y penetrabilidad aumenta debido al número, tipo y conexión de estas fisuras por unidad de volumen y controla igualmente las propiedades mecánicas de la roca (resistencia a compresión).

El leucogranito de San Pedro es el tipo de roca empleado en la construcción de algunos de los edificios históricos mas relevantes de la ciudad de A Coruña (España). La cercanía de la cantera (en pleno casco urbano), su facilidad de extracción y su grano fino adecuado para el tallado y trabajado de detalles arquitectónicos, explican su amplio uso en la histórica arquitectónica de la ciudad. Se trata de un leucogranito de grano fino, textura granuda y aspecto blanquecino, sin biotita, en ocasiones deformado aplastándose ligeramente los feldespatos y observándose cierta orientación.

En la cantera (cuya actividad se detuvo en la segunda mitad del siglo XX) se diferencian dos tipos de leucogranito en cuanto a la alteración:

- CSP1: en la zona más nororiental el granito tiene una tonalidad más clara (casi blanco), es más duro y aparece menos alterado y fracturado (figura 1).
- CSP2: en la parte suroccidental el granito tiene un tono más amarillo, más fracturado (figura 2) y se deshace con cierta facilidad (arenizado en algunos casos).

La forma de deterioro más frecuente y generalizada del leucogranito de San Pedro es la descamación, y la formación de placas, ligadas a las foliaciones tectónicas y orientaciones de minerales de la roca (Sanjurjo Sánchez, 2005). En muy pocos casos, se observan otro tipo de fenómenos erosivos como la formación de alveolos, relacionados con heterogeneidades del leucogranito. La formación de escamas ha sido relacionada con procesos de hidratación a favor de la foliación tectónica de la roca estudiada (Vidal Romaní y Yepes Temiño, 2005). La formación de placas es un proceso generalizado en sillares de monumentos, y diversos autores la han relacionado con procesos de humectación y desecación, o contracción

y dilatación por ciclos de temperatura, crioclastia y sobre todo haloclastismo. En el caso estudiado no existe un único factor determinante. Las placas se han formado a favor de la foliación tectónica de la roca y no se ha observado la existencia de factores exógenos concretos. Otras formas de alteración erosiva como desagregación granular o alveolización son testimoniales. La mayor parte de estos procesos de deterioro se observan, además, en la superficie de roca del entorno de la cantera de origen. Esto indica que son las características intrínsecas de los granitos y la meteorización heredada de la cantera el factor más determinante que propiciará la activación de estos procesos.

Figura 1. Vista general de la cantera de San Pedro en la zona nororiental. Obsérvese la tonalidad blanquecina del granito no alterado (CSP-1).

Figura 2. Vista general de la cantera de San Pedro en la zona surocciental. Obsérvese la notable fracturación del granito alterado (CSP-2).

Uno de los monumentos más relevantes de la ciudad, construido con este tipo de roca, es la Iglesia de Las Capuchinas, situada en el centro de la ciudad y construida en 1715 por el famoso arquitecto Fernando Casas y Novoa, cuya obra mas relevante es la fachada barroca de la catedral de Santiago de Compostela.

El estado de conservación de los sillares de la fachada principal de la iglesia de las Capuchinas es muy malo. La mayor parte de sillares presentan escamas y placas muy desarrolladas, por toda la fachada. Estas placas afectan a la superficie de la mayor parte de sillares, son gruesas y duras.

Pero además, prácticamente toda la sillería está recubierta de pátinas y costras de yeso gruesas, muy adheridas a la roca, y que se desprenden con las placas. En el interior de estas placas se observa con frecuencia cristalización de sales (yeso). Las costras y pátinas se deben a la aplicación de un enlucido de yeso (Sanjurjo Sánchez *et al.,* 2004), cuya disolución y lavado ha propiciado la penetración de sales en al zona subsuperficial de los sillares. En algunos sillares aislados se observa además una completa desagregación granular o arenización. Apenas se observa alveolización que se produce solo en ciertas caras de pocos bloques. También son frecuentes las pérdidas de masa por erosión en molduras y detalles arquitectónicos (figura 3).

Figura 3. Sillares erosionados en la fachada de la Iglesia de las Capuchinas.
En el círculo se aprecia un sillar en el que toda la parte superficial se ha desprendido.

El objetivo de este trabajo es la evaluación del estado de meteorización y deterioro del granito del monumento y de la cantera de procedencia. Para ello, se tomaron probetas y esquirlas de roca de la variedad no meteorizada (CSP-1) y meteorizada (CSP-2) de la cantera y de varios sillares de la Iglesia de las Capuchinas (CAP-7, 8 y 9) para el estudio de su porosidad.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La porosimetría estudia la distribución volumétrica de los poros abiertos, según su tamaño de radio o diámetro. Para establecer la porosimetría de las muestras se realizan dos tipos de ensayos directos:

- Los métodos de succión se basan en la relación existente entre succión y contenido de humedad de un material, y permiten determinar su distribución de tamaños de poros. De hecho, la presión negativa o succión que retiene el agua en los poros capilares está en proporción inversa con el diámetro del poro.

- El método de porosimetría de mercurio se basa en la presión a ejercer para lograr la penetración en los poros abiertos de la piedra de mercurio. El aparato utilizado se denomina porosímetro y permite medir el volumen total de poros de determinados diámetros, variando la presión aplicada. Es un método rápido al utilizar un equipo completamente automático.

En un material sólido de acuerdo con la definición de la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) se pueden diferenciar siete propiedades de un sólido poroso:

- Poro cerrado: se denomina así a un poro que no es accesible. Este tipo de porosidad reducirá la densidad y la fuerza mecánica de un sólido.
- Poro de cuello de botella: son poros cuya entrada es más estrecha que el cuerpo del poro. Ya que los procesos de transporte de gases o líquidos a través del sólido estarán determinados por las constricciones más estrechas a través de las cuales éstos deben pasar, la distribución de tamaños de poros o más bien de tamaños de cuellos de poro puede tener más importancia que la de los tamaños reales de los poros presentes en el material. La porosimetría por intrusión de mercurio asignará el volumen de poros erróneamente a poros con diámetro igual al de su abertura. Esto da lugar a una sobrestimación de la cantidad de poros pequeños y una desestimación de los grandes, así como a una sobrestimación del área superficial calculada a partir de la porosimetría de intrusión de mercurio, ya que el cálculo está basado en la suposición de poros cilíndricos no conectados.
- Cilíndricos abiertos: son poros que tienen forma cilíndrica y están conectados al resto de la estructura porosa.
- De embudo abiertos: son poros de forma de embudo que se estrechan hacia el interior, sin llegar a cerrarse.
- Poros continuos: es el tipo de poro que controla los procesos de transporte de gas o líquido a través del sólido poroso.
- Poros ciegos: se llama así al poro que no está conectado con el resto de la estructura porosa y como tal será medido en el volumen de poros total, pero no participará en los procesos de transporte.
- Rugosidad superficial: el criterio adoptado para diferenciar entre un poro ciego y la rugosidad superficial es que el poro sea por lo menos dos veces más profundo que ancho. La rugosidad superficial aumenta el área de un sólido pero no su volumen de poro.

La porosimetría permite caracterizar la estructura interna de un material estudiando el porcentaje de volumen de poros de la roca y la distribución volumétrica de los poros abiertos, según su diámetro. Los métodos de succión permiten determinar la distribución de tamaños de poros (Dullien, 1992) para diferenciar la porosidad primaria (generada durante la formación de la roca) y la secundaria (generada por procesos de meteorización). La distinción entre poros y fisuras, por ello, es muy importante en los estudios de transferencia de fluidos en rocas (Hammecker *et al.,* 1993; Alves, 1997).

Para evaluar la porosidad de las diferentes muestras se utilizaron los coeficientes de porosidad (Mertz, 1991) obtenidos con probetas cilíndricas de roca. Para ello, se midió su masa en seco (Ws) y tras 1 hora en agua destilada hasta 1/4 de la altura total de las probetas. Una hora después se adicionó agua hasta 1/2 de la altura de las probetas (t_2) y se dejó reposar 23 horas. Se midió la masa (W48) y se añadió agua hasta cubrir totalmente las probetas dejándose éstas en reposo 24 horas. Pasado ese tiempo se midió la masa saturada (W2) y su peso hidrostático (W1). Se determinaron así dos coeficientes. El coeficiente de porosidad total (N% en volumen):

$$Nt = (W2 - Ws) * 100 / (W2 - W1) \qquad (1)$$

Y el coeficiente de porosidad a 48 horas o libremente accesible (% en volumen), conociendo el volumen total de la probeta (Vt):

$$N48 = (W48 - Ws) * 100 / Vt \quad (2)$$

El coeficiente de Hirschwald (Mertz, 1991) dado por S48 = N48/Nt, facilita información sobre la interconexión del medio poroso: cuanto mayor es S48 mejor será la interconexión del medio. Los valores de porosidad total y libre son normalmente mayores en las muestras que presentan un aspecto más meteorizado (Alves, 1997). La relación lineal entre Nt y N48 dará una pendiente característica de cada proceso de meteorización. El aumento de S48 con la meteorización implica también una disminución de la porosidad de retención (1-N48) con la meteorización (Mertz, 1991).

La porosimetría de intrusión de mercurio permite determinar el volumen y distribución de tamaño de poros de sólidos en base a la hipótesis de que los poros son cilíndricos. A cada presión se toma el volumen de mercurio introducido y se calcula el radio de poro correspondiente. Esta técnica permite también obtener gráficas del volumen total de inyección y de curvas derivadas que permiten caracterizar la distribución dimensional, pudiéndose definir las poblaciones de poros y sus modas. También se puede determinar un límite de radio de acceso al medio poroso (radio de "breaktrough" o de "threshold") hecha a partir de las curvas acumuladas (Mertz, 1991; Dullien, 1992; Hammecker *et al.,* 1993; Alves, 1997).

El volumen de mercurio proporciona directamente el volumen de poros, El radio de poro es una función inversa de la presión, según la ecuación de Washburn:

$$R = (2 \pi r \gamma \cos \theta) P \quad (3)$$

en donde R es el radio de poro, γ es la tensión superficial del mercurio, r el radio de curvatura de la gota, θ el ángulo de contacto con el material sólido (=141º) y P la presión aplicada.

El radio medio del poro se calcula en base a la derivada del volumen de mercurio intruído frente a la variación del radio (dV/dR), para cada intervalo seleccionado. En distribuciones de poros unimodales, se selecciona todo el rango de porosidad mesurable. En distribuciones bimodales, se divide el rango de porosidad en un número de intervalos, se selecciona el rango de poro con máxima penetración de mercurio, y se calculará el radio medio dentro del rango seleccionado.

Para la porosimetría de mercurio se utilizaron dos porosímetros Thermo Electron: modelo Pascal 140 y modelo Pascal 440 La mayor limitación de esta técnica es debida a la compleja asimetría real del sistema poroso de la gran mayoría de los sólidos naturales (rocas). Los poros no suelen ser cilíndricos y la geometría de sus conexiones también varía. Sin embargo, es una técnica muy resolutiva siempre que se lleve a cabo un estudio del sistema poroso de la roca con ésta y otras técnicas adicionales que permitan obviar las limitaciones anteriormente señaladas.

III. RESULTADOS

Los datos de porosimetría por absorción de agua indican que la porosidad total de las muestras correspondientes a la variedad no meteorizada de la cantera (CSP-1) es mucho más baja que para el resto de muestras de leucogranito (con color similar pero una tonalidad menos amarillenta). Además, la porosidad libremente accesible (N48) se incrementa con la porosidad total (Nt), es decir, con la meteorización, aunque para los coeficientes S48 no se observan variaciones relacionadas con la meteorización de las muestras (tabla 1). La correlación en todas las muestras es similar a la encontrada para otros granitos (Alves, 1997).

Muestra	Nt (%)	N48 (%)	S48
CSP1	1,114±0,004	1,075±0,037	0,965±0,064
CSP2	4,065±0,119	3,921±0,197	0,965±0,095
CAP7	3,749±0,134	3,332±0,115	0,889±0,092
CAP8	3,494±0,214	3,455±0,255	0,989±0,015
CAP9	4,991±0,761	4,832±0,571	0,968±0,204

Tabla 1. Resultado de los ensayos de porosidad (Mertz, 1991) realizados sobre las diferentes probetas.

Los valores de N48 y Nt definen una recta de correlación estadística con una pendiente de 0,943 y un coeficiente de correlación lineal (R^2) de 0,99 (figura 4). El valor de la pendiente define la relación entre porosidad total y libremente accesible durante el proceso de meteorización. No se observa sin embargo una correlación entre el coeficiente S48 y el incremento de la meteorización.

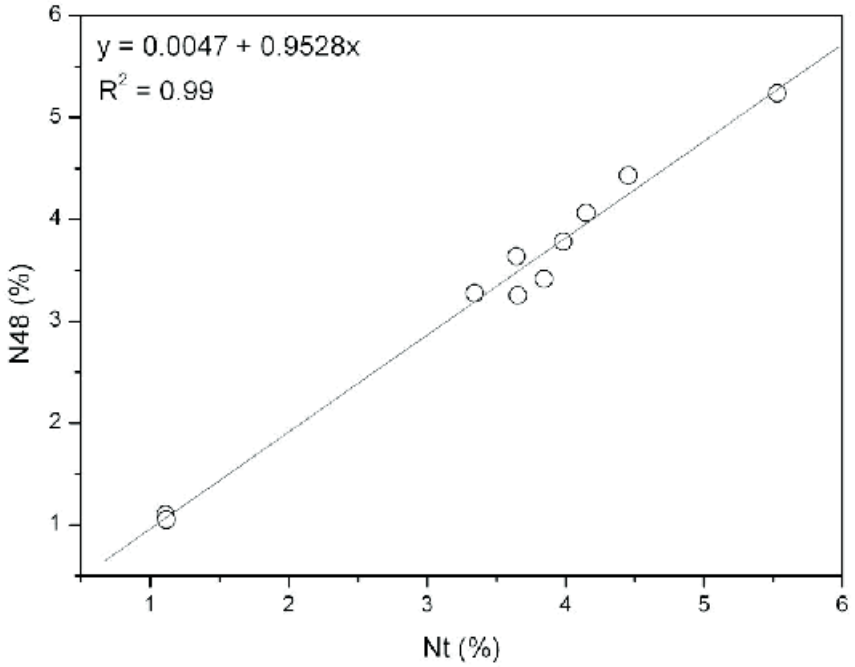


Figura 4. Comparación de valores de Nt (porosidad total) y N48 (porosidad libremente accesible) y recta de meteorización que definen con pendiente de 0,943.

Los análisis de porosimetría de mercurio revelan que la porosidad total y el radio de acceso de poro (Ra) de las muestras no alteradas de cantera (CSP-1) son menores que en el resto de las muestras estudiadas (tabla 2).

Muestra	Ra (□ m)	NHg (%)
CSP1	0,34 ±0,04	1,988 ±0,337
CSP2	1,125 ±0,247	4,973 ±1,066
CAP7	1,075 ±0,035	4,887 ±0,001
CAP8	2,85 ±1,485	5,848 ±1,697
CAP9	1,725 ±0,955	6,358 ±0,566

Tabla 2. Datos de porosidad (NHg) y Radio de acceso de poro (Ra) de las muestras obtenidos por porosimetría de mercurio.

La representación de las curvas de volumen de mercurio intruído frente al radio de poro (figura 5) indica que existe un amplio espectro de radios de poro que ocupan volúmenes similares en las muestras de cantera correspondientes al tipo no meteorizado (CSP-1). Sin embargo, en las muestras del tipo meteorizado (CSP-2), y en aquellas tomadas del monumento se observa una tendencia unimodal o casi bimodal, concentrándose el mayor volumen de poros en un radio de entre 8 y 0,3 mm.

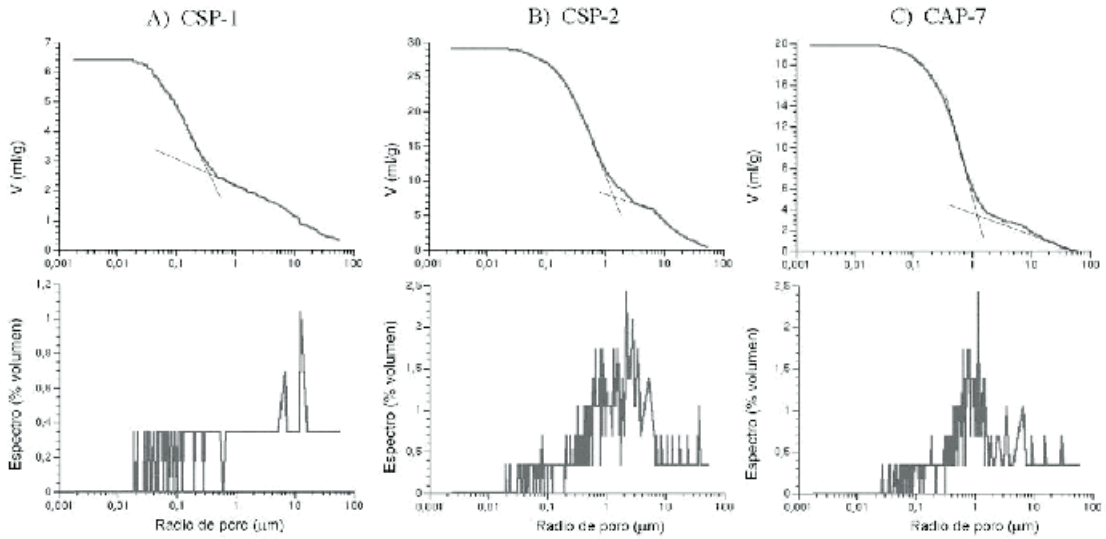


Figura 5. Representación de las curvas de volumen de mercurio intruído frente al radio de poro (primera hilera) y de los espectros porosimétricos (% de volumen).

Por otra parte, si bien existe una correlación lineal para los datos de Nt y N48 calculados por inmersión con agua, no se observa la existencia de correlaciones claras entre los datos obtenidos por absorción con agua y porosimetría de mercurio. Sólo se aprecia una tendencia positiva entre ambos tipos de medidas, ya que las muestras con mayor Nt y N48 corresponden aproximadamente a las más porosas al mercurio. Además, la porosidad hallada con mercurio es sensiblemente superior en todas las muestras.

IV. DISCUSIÓN

Los datos de porosidad por absorción de agua indican que la porosidad total de las probetas de la variedad no meteorizada de la cantera (CSP-1) es mucho menor que para el resto de muestras de forma que las muestras menos meteorizadas (de tonalidad menos amarillenta) son menos porosas. La porosidad libremente accesible se incrementa acorde con la total, aunque para los coeficientes S48 no se observan variaciones relacionadas con la meteorización de las muestras. Esto concuerda con los estudios de meteorización por porosimetría existentes para otros granitos, en los cuales, la porosidad se incrementa con el deterioro, al menos en el inicio de los procesos de meteorización (Begonha *et al.,* 1994; Alves, 1997). La comparación de los valores de porosidad libremente accesible con los de porosidad total indican una buena correlación para estos valores en todos los casos, similar a la encontrada para otros granitos (Begonha *et al.,* 1994; Alves, 1997).

Existe, por otra parte, una relación positiva no lineal entre la porosidad total de las muestras (NHg) y el radio de acceso de poro calculado (Ra), lo que es indicativo de que el radio de acceso determinará la mayor parte del volumen de mercurio que penetre en la muestra. También la variedad menos alterada de la cantera (CSP-1) muestra menores valores de porosidad total, y menor radio de acceso.

La distribución dimensional de los radios de acceso de poro es además similar en las muestras más meteorizadas, lo que ya había sido observado con anterioridad por otros autores (Alves, 1997). Los espectros porosimétricos de las muestras menos alteradas distan de ser unimodales o bimodales, es decir, la porosidad de las muestras se debe a la existencia de varias familias de poros. Las muestras más porosas, y por tanto más alteradas muestran por el contrario espectros uni o bimodales. Es decir, la meteorización modifica el sistema de poros de las rocas homogeneizándolo.

Por otra parte, los valores de porosidad obtenidos por porosimetría de mercurio son siempre superiores a los obtenidos por porosimetría por absorción de agua, coincidiendo esta observación con las realizadas por otros autores para otros tipos de rocas más porosas (Mertz, 1991; Hammecker *et al.,* 1993).

De esta forma puede atribuirse la intensidad de los procesos de deterioro observados en este granito ornamental a la mala calidad de la roca. La roca meteorizada, y por tanto de peor calidad, presenta una mayor facilidad de extracción y trabajado. Un factor acelerador de la erosión de esa roca meteorizada en el monumento es la aplicación de materiales aglomerantes, como morteros de cal y yeso, cuyo comportamiento ante los ciclos de humedad y temperatura ambientales es muy diferente al de la roca y que, además, son una fuente de soluciones salinas que aceleren el deterioro.

V. CONCLUSIONES

El gran deterioro existente en los sillares de la fachada principal de la iglesia de Las Capuchinas de A Coruña (España) se justifica por el empleo como material de construcción de tipos de rocas meteorizados previamente en la cantera de procedencia. Los procesos erosivos, en este casos están condicionados por las características intrínsecas de la roca (foliación tectónica y meteorización en cantera) y de manera secundaria por los agentes exógenos. Entre estos agentes exógenos la alteración está principalmente asociada a la interacción con materiales aglomerantes que suponen una fuente de yeso cuya disolución y reprecipitación afecta al sistema de poros del granito. La porosidad e interconexión del sistema de poros del granito están condicionadas por el grado de meteorización: granitos más meteorizados muestran mayor porosidad total y de retención. También el avance del proceso de meteorización tiende a unificar los diámetros de poro predominantes en el sistema de poros de la roca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ DE BUERGO, M.A. y GONZÁLEZ LIMÓN, T. 1994: *Restauración de edificios monumentales.* CEDEX. Madrid.

ALVES, C.A.S. 1997: *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na Conservação do Património Constuido.* Tesis Doctoral inédita. Universidade do Minho. Braga (Portugal).

BEGONHA, A.; JEANNETTE, D.; HAMMECKER, C. y SEQUEIRA BRAGA, M.A. 1994: "Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments". *3th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* (Venice, Italy): 541-546.

DULLIEN, F.A.L. 1992: *Porous Media. Fluid Transport and Pore Structure.* Academic Press. San Diego, US.

HAMMECKER, C.; MERTZ, J.D.; FICHER, C. y JEANNETTE, D. 1993: "Ageometrical model for numerical simulation of capilarity imbibition in Sedimentary rocks". *Transport in Porous Media* 12: 125-141.

IÑIGO, A.C.; VICENTE, S.; RIVES, V. y VICENTE, M.A. 1994: "Porosidad libre en granitos alterados: comentarios a las normas". *Materiales de Construcción* 45: 47-53.

MATIAS, J.M. y ALVES, C.A.S. 2002: "The influence of petrographic, architectural and environmental factors in decay patterns and durability of granite stones in Braga monuments (NW Portugal)". En: S. Siegesmund, T. Weiss y A. Vollbrecht (eds.). *Natural stone weathering phenomena, conservation strategies and case studies.* The Geological Society. London: 273- 281.

MERTZ, J.D. 1991: *Structures de porosité et propiétés de transport dans les grès.* Thesis Doctorel. Université Louis Pasteur. Strasbourg.

SANJURJO SÁNCHEZ, J.; VIDAL ROMANÍ, J.R. y ALVES, C.A.S. 2004: "Characterisation typology and origin of patinas in the church of Las Capuchinas, A Coruña (NW Spain)". *6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* (Lisbon, Portugal): 202-206.

SANJURJO SÁNCHEZ, J. 2005: *La secuencia de alteración de superficies graníticas. Influencia de factores litológicos, geodinámicos, climáticos y biológicos.* Tesis Doctoral inédita. Universidade da Coruña.

VIDAL ROMANÍ, J.R. y YEPES TEMIÑO, J. 2005: "Historia de la morfogénesis granítica". *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 29: 331-360.

ORIGEN DE COSTRAS Y PÁTINAS DE YESO EN EDIFICIOS HISTÓRICOS DE A CORUÑA (NO ESPAÑA)

ORIGIN OF GYPSUM CRUSTS AND PATINAS IN HISTORIC BUILDINGS OF A CORUÑA (NW SPAIN)

JORGE SANJURJO SÁNCHEZ[1], JUAN RAMÓN VIDAL ROMANÍ[1],
CARLOS ALBERTO SIMÕES ALVES[2], DANIEL FERNÁNDEZ MOSQUERA[1]

(1) Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal". Edificio Servizos Centrais Investigación. Universidade da Coruña. 15071 A Coruña (España).
(2) Departamento de Ciencias da Terra. Universidade do Minho. Campus de Gualtar. 4710 - 057 Braga (Portugal).

RESUMEN

El estudio del deterioro y la conservación del patrimonio histórico construido ha sido escaso en Galicia (NO España) a pesar de ser necesario para la ejecución de proyectos de limpieza y restauración de fachadas. La falta de estudios puede llevar a la ejecución de restauraciones incorrectas con la eliminación de morteros o revestimientos originales, interpretados como costras o pátinas de ensuciamiento. Para comprobar esta hipótesis, se ha realizado un estudio de las pátinas y costras en algunos monumentos de la ciudad de A Coruña con el objeto de diferenciar el origen de cada uno y los procesos que han provocado su desarrollo. Los resultados muestran que la existencia de costras de yeso se debe al efecto que tiene la elevada contaminación del aire existente en la alteración de revestimientos de yeso (enlucidos) que no han sido documentados.

ABSTRACT

The study of decay and preservation of historical heritage has been scarce in Galicia (NW Spain), despite being much needed for the implementation of façade cleaning and restoration projects. The lack of studies may lead to the execution of wrong restorations with the elimination of original mortars or coatings interpreted as dust crust and patinas. To test this hypothesis, a study has been made of patinas and crusts in some monuments in the city of A Coruna in order to distinguish the origin of each and the processes that have led to their development. The results show that the existence of gypsum coatings is due to the effect of high air pollution in the alteration of gypsum plasters (plastering), which have not been documented.

Palabras clave: patrimonio, recubrimientos, costras, pátinas, yeso, polución.

Key words: *Heritage, coatings, crusts, patinas, gypsum, pollution.*

INTRODUCCIÓN

Las costras o pátinas son acreciones adheridas a la superficie de la roca cuyos constituyentes han sido transportados hacia ésta, desde de pocas micras o miles de kilómetros (Dorn, 1998). A la hora de establecer una clasificación de pátinas en superficies de roca se clasifican según sus composición y se atribuyen a diferentes orígenes. De esta forma diversos autores han diferenciado costras de endurecimiento, pátinas de polvo, de hierro o de metales pesados, pátinas de sílice y costras salinas de nitratos, yeso o halita. Sin embargo, en el caso de rocas empleadas como material de construcción la incidencia de pátinas y costras no es la misma que en la naturaleza y algunos de los tipos antes mencionados adquieren especial relevancia por su ubicuidad o su efecto en el deterioro de los materiales de construcción. Dentro de este tipo de pátinas destacan las costras salinas y en particular son especialmente habituales las de yeso, en todo tipo de rocas.

Normalmente, las costras de yeso se asocian a ambientes áridos, a la alta solubilidad del yeso y a procesos de evaporación. La formación de eflorescencias y costras de yeso en ambientes naturales se ha atribuido con frecuencia, en ambientes litorales, al aporte de sulfatos por nieblas o *spray* marino en zonas protegidas del lavado por lluvia (Chabas y Lefèvre, 1996). Pero también existen en edificios históricos, en donde su origen se ha atribuido con frecuencia al ascenso de agua capilar con azufre en disolución procedente de morteros y su posterior sulfatación, o a aguas contaminadas (Zehnder, 1993).

En ambientes urbanos, las costras de yeso son frecuentes en monumentos construidos con rocas graníticas (Begonha y Sequeira Braga, 1996) en donde se han asociado a contaminación. Según algunos autores, estas costras se forman por combinación de sulfatos procedentes de la atmósfera con calcio de feldespatos (Schiavon, 1993). Para otros, se producen por sulfatación y nucleación por arcillas y partículas atmosféricas (Del Monte y Sabbioni, 1984) o a nucleación de yeso por microorganismos que participan en su formación (Blázquez *et al.,* 1997). Pero estos procesos difícilmente explican la formación de costras gruesas y compactas, debido a la escasa cristalización de yeso por nucleación incluso en experimentos en atmósferas contaminadas con altas concentraciones de sulfatos (Cultrone *et al.,* 2000).

También es frecuente su atribución a la oxidación de piritas de la roca (Schiavon *et al.,* 1994), hipótesis poco probable en muchas rocas graníticas si se consideran las bajas o nulas proporciones de azufre existentes en sus minerales. Mucho más probable es la sulfatación de calcio de morteros (Smith *et al.,* 1994) dada su tendencia a sufrir sulfatación y a que son una inmensa fuente de calcio y sales, fácilmente solubles. Otra posibilidad es la existencia de enlucidos de yeso sobre la sillería en monumentos graníticos, cuya alteración y ennegrecimiento, por deposición de partículas contaminantes, explicaría su apariencia de costras (Cabrera Garrido, 1994; Sanjurjo Sánchez *et al.,* 2004).

En la ciudad de A Coruña (NO España) existen varios edificios históricos construidos con rocas graníticas con costras negras, y que por su situación en zonas de diferente cercanía al mar y exposición a contaminación por tráfico rodado, suponen una muestra adecuada para estudiar los procesos de formación de costras de yeso en monumentos de ambientes urbanos. Estos edificios son las iglesias de Las Capuchinas, Santiago y la Colegiata de Sta. María del Campo. Los dos tipos de roca utilizados en su construcción son un leucogranito de grano fino y sin biotita, y una granodiorita de grano grueso y con megacristales de feldespato potásico.

El objetivo que se plantea en este trabajo es el análisis y estudio de las costras y pátinas de yeso mas frecuentes en los edificios históricos antes mencionados con el propósito de conocer los procesos que han determinado su formación y el papel que las características de la roca, los materiales aglomerantes y los agentes climáticos tienen en la formación del mencionado yeso.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Previamente a la recolección de muestras se realizó un estudio acerca de la documentación histórica existente de los procesos de construcción, reconstrucciones y modificaciones de los edificios con información alusiva a la existencia de pinturas, revocos o enlucidos.

Posteriormente se realizó un estudio de campo de observación de tipología y frecuencia de pátinas y costras. Se tomaron muestras de pátinas y costras en todas las fachadas de los tres edificios. Las muestras recogidas fueron estudiadas por observación superficial con Microscopía Electrónica de Barrido y análisis por EDS. También se estudiaron secciones transversales pulidas por electrones secundarios y retrodispersados, análisis por EDS, y mapas de rayos X.

III. RESULTADOS

El estado de las fachadas de los edificios estudiados y la presencia y desarrollo de costras y pátinas es muy variable. En la Iglesia de las Capuchinas, la fachada está muy deteriorada y cubierta de pátinas y costras negras. En la mayor parte de la superficie hay una costra negra compacta y de superficie uniforme (Tipo 3). En algunas zonas aisladas, principalmente detalles arquitectónicos y la hornacina central de la fachada, se observan restos de un revestimiento amarillo-ocre. Éste corresponde a restos de un enlucido de yeso y su superficie no presenta deposición de partículas. Bajo la cornisa inferior de la hornacina se observa otra costra negra gruesa y compacta (Tipo 1) y bajo la cornisa principal de la fachada hay costras negras gruesas con nódulos (Tipo 2). Bajo esta misma cornisa, en algunas zonas se observa una pátina gris a modo de reguero (Tipo 4).

En el caso de la Colegiata de Santa María del Campo, ésta presenta revestimientos en las arquivoltas y tímpanos de los pórticos (Tipo 3). En los pórticos de las fachada norte y sur hay varios revestimientos: uno pardo-amarillo (enlucido), una costra negra (Tipo 1), un revestimiento gris de textura plástica (enlucido) y uno negro de similar textura (Tipo 3). Bajo las cornisas superiores hay una pátina gris-negra formado por lavado (Tipo 4).

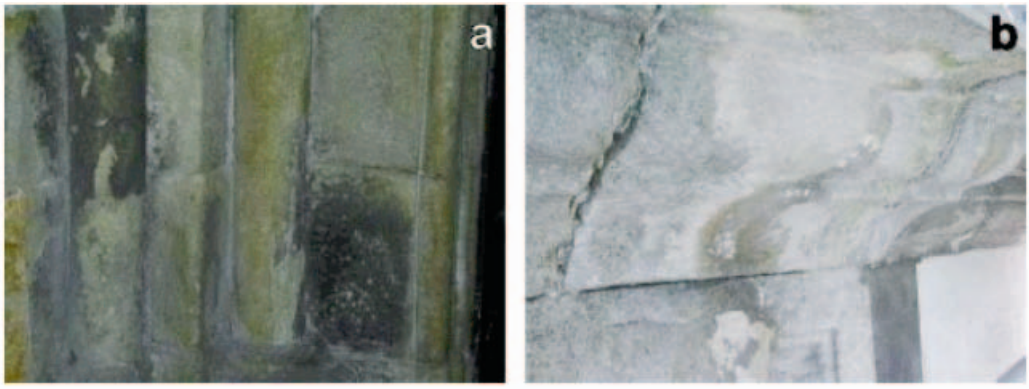


Figura 1. Imágenes de detalle de un enlucido original de yeso (1ª, color amarillo), una costra Tipo 3 (1b, color gris-negro), y una pátina Tipo 4 (1b),

La Iglesia de Santiago también muestra diferentes tipos de pátinas y costras. En la hornacina y bajo la cornisa del pórtico principal hay una pátina gris de lavado a modo de reguero similar al tipo 4 encontrado en la Iglesia de Las Capuchinas. Los pórticos presentan una costra negra, gruesa y compacta de interior amarillo claro del Tipo 1.

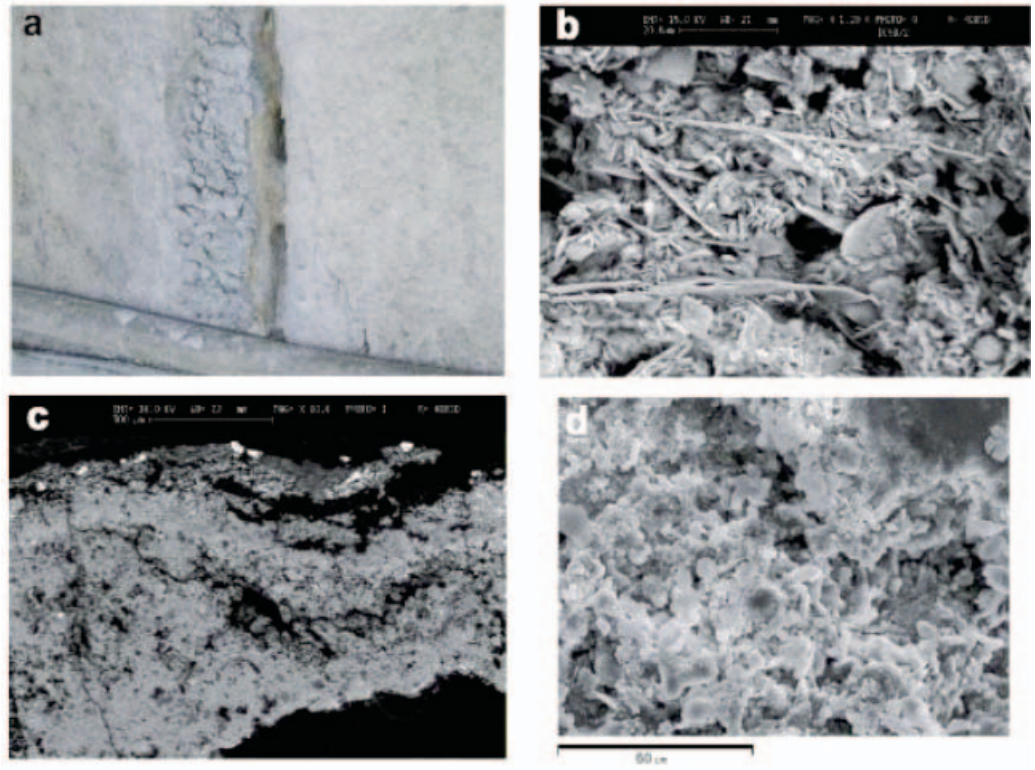


Figura 2. Fotografías e imágenes de MEB de revestimientos: (a) imagen de detalle de una costra Tipo 2, (b) micrografía de la superficie de una costra tipo 2, (c) micrografía de un corte transversal de una costra Tipo 1, (d) micrografía de la superficie de una costra Tipo 3 en un zona superficial con sulfato cálcico sin formas cristalinas definidas.

Los análisis realizados han permitido clasificar las pátinas y costras según sus características texturales y composición:

- **Enlucido:** En el caso de la Iglesia de Las Capuchinas se trata de un enlucido de yeso situado en la hornacina de la fachada (de hasta 1 cm de grosor) formada por maclas planares de yeso y arena. También aparece en algunas molduras como retazos de una pátina fina (hasta 100 µm de espesor) ocre-amarillo. Su superficie es porosa, con sulfato cálcico sin formas cristalinas definidas en unas zonas, y rosetas de yeso con árido en otras. En la Colegiata de Santa María (fig. 1a), el enlucido presenta dos capas: una interna de 200 µm de máximo espesor, de sulfato cálcico y con clastos; y una externa de 5-10 µm rica en silicio y con aluminio. La textura superficial del revestimiento varía según se observe la capa externa rica en silicio o esta haya sido eliminada por la erosión. En la zona rica en Si la textura es de apariencia amorfa, compacta y fracturada en zonas intactas, y porosa y con carbono, azufre y calcio en zonas en las que se ha alterado esa capa. La capa interna muestra una textura superficial de apariencia amorfa, porosa y rica en silicio y aluminio con aglomerados de maclas tabulares de yeso (y trazas de sodio, cloro, magnesio, potasio, titanio y hierro).
- **Tipo 1:** Se trata de una costra negra observada en los tres edificios estudiados. Tiene aproximadamente 0,5 mm de espesor medio y 1 cm de máximo y está situada bajo la cornisa de la hornacina en Las Capuchinas y en los pórticos de las fachadas norte y oeste en la Iglesia de Santiago, y norte y sur de la Colegiata de Santa María. En superficie está formada por maclas planares de yeso en rosetas, con microclastos, cenizas volantes, agregados ricos en plomo y ocasionalmente halita en superficie (fig. 2c). En la Iglesia de Santiago también se detectan muy ocasionalmente agregados ricos en titanio.

- **Tipo 2:** Se ha podido observar tan sólo en la Iglesia de Las Capuchinas. Es una costra negra gruesa con nódulos de hasta 2 cm de diámetro (fig. 2a). La superficie presenta dos tipos de texturas: una de maclas planares de yeso (fig. 2b) en rosetas (dos tamaños de cristales: 10-50 µm y de 2-5 µm) y otra de sulfato cálcico sin formas cristalinas aparentes. Sobre las maclas aparecen clastos y agregados ricos en hierro y en plomo. El interior de la costra es de sulfato cálcico, arena y carbono.
- **Tipo 3:** Este tipo de costras ocupa una extensión importante de las fachadas principales de la Iglesia de las Capuchinas y de los pórticos norte y sur de la Colegiata de Santa María (fig. 1a). Son costras negras de hasta 600 µm de espesor, cuya superficie presenta dos tipos de texturas: una porosa con arena y sulfato cálcico sin formas cristalinas aparentes (fig. 2d), y otra más porosa de maclas planares de yeso. Las zonas más porosas, conglomeráticas, de maclas tabulares de yeso, presentan una gran cantidad de partículas en superficie, principalmente clastos, agregados ricos en hierro (fig. 3), en plomo y cenizas volantes. Las zonas menos porosas, sin formas cristalinas aparentes, son ricas en carbono y presentan los mismos tipos de partículas pero con una abundancia mucho menor.
- **Tipo 4:** Aparece en los tres edificios estudiados. Es una pátina gris localizada siempre en la parte inferior de algunas cornisas (fig. 1b). Tiene hasta 300 µm de espesor. La superficie es irregular formada por rosetas de yeso, con clastos, agregados ricos en hierro (de hasta 50 µm), carbono y halita, y ocasionalmente alguna cenosfera.

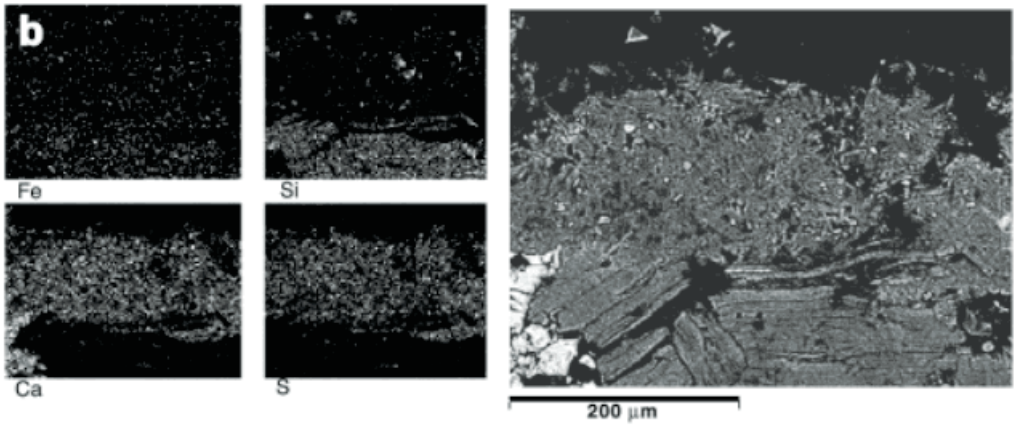


Figura 3. Mapa de Rayos-X de un corte transversal de un revestimiento Tipo 3.
La costra de yeso contiene partículas ricas en Fe.

IV. DISCUSIÓN

Los distintos tipos de costras y pátinas de yeso en los edificios históricos estudiados permiten establecer un origen para cada uno de esos tipos. Por una parte la diferente situación de los monumentos estudiados en la ciudad de A Coruña permite descartar la importancia del papel de la contaminación atmosférica e influencia del mar en la formación de pátinas y costras en las fachadas según las condiciones locales. En el caso de la Iglesia de Las Capuchinas todas las pátinas y costras están claramente relacionadas con la aplicación no documentada de un enlucido de yeso. Existe, una relación directa entre el enlucido y la influencia de factores ambientales (exposición a lluvia y a contaminación atmosférica por el abundante tráfico rodado) que explica la actual presencia y distribución de las costras. Las partículas procedentes de contaminación atmosférica (agregados ricos en plomo, clastos, cenosferas, cenizas volantes, etc.)

aparecen sólo en la superficie de las costras y proporcionan el color negro superficial, siendo el interior de las costras amarillo o blanco. Las pátinas Tipo 4 se han formado por el lavado y reprecipitación del yeso a partir del enlucido o por lavado de la mayor parte de las costras en zonas expuestas a lluvia.

También la mayor parte de las pátinas y costras desarrolladas sobre las fachadas de la Colegiata de Santa María y la Iglesia de Santiago se puede relacionar con la aplicación de revestimientos artificiales de yeso. La distribución actual de pátinas y costras está también condicionada por la existencia previa de estos revestimientos de yeso, lavados por agua de lluvia, reprecipitados y que han captado, por deposición, partículas procedentes de contaminación atmosférica. Esto explica el ennegrecimiento sólo superficial. En estos dos casos, sin embargo, las costras y pátinas no alcanzan el desarrollo de las de la Iglesia de Las Capuchinas, debido a que la aplicación de enlucidos de yeso ha sido menos extensa en las dos primeras iglesias, mientras que en Las Capuchinas se ha realizado en toda la fachada.

Existe la posibilidad de que algunos de esos enlucidos fuesen en realidad pinturas como sugieren algunos autores (Polikreti y Maniatis, 2003) debido a la presencia de hierro en algunos casos (Tipos 1, 2 y 3), e incluso, titanio en el Tipo 1 de la Iglesia de Santiago.

Además, en el caso de la Iglesia de Santiago existe documentación histórica referida a un revestimiento artificial blanco en los pórticos de la iglesia en el siglo XIX (de Vedía y Gossens, 1845), zonas en las que actualmente se observan las costras de yeso Tipo 1. Las costra Tipo 2 en este edificio se originó por lavado y reprecipitación de sulfato cálcico de los enlucidos de yeso y posiblemente de algún antiguo mortero.

En contraste a estas superficies ennegrecidas puede observarse que, en las zonas de la superficie de las fachadas de los monumentos estudiados sin revestimientos, sino sillares de roca desnudos, no se observa este ennegrecimiento ni deposición de partículas. Así pues, esa deposición se produce debido al substrato poroso de los revestimientos, rechazándose que se produzca el proceso inverso (cristalización de yeso y formación de costras por deposición de partículas) como defienden algunos autores (Pye y Schiavon, 1989; Cultrone *et al.,* 2000).

A pesar de las diferentes zonas en las que se encuentran los edificios, con diferente influencia de esos factores ambientales, no se observan diferencias en la distribución, ocurrencia y características químicas y físicas de las costras y pátinas de yeso. Es decir, no se puede afirmar que exista una relación entre el desarrollo de las pátinas y costras con factores como la contaminación industrial, la contaminación por tráfico rodado o el *spray* marino. En ningún caso se ha encontrado una relación entre la distribución de sulfato cálcico y la influencia de contaminación marino, lo que indica que el origen del azufre no es, en este caso, marino como en otros casos (Chabas y Lefèvre, 1996). Además, aunque existe halita en algunas costras, ligada según algunos autores a zonas secas y expuestas a la influencia marina (Chabas y Jeannette, 2001), no se observa esa correspondencia en este caso, ya que la humedad ambiental, que afecta a la halita es, en general, similar en las diferentes edificaciones y sus fachadas.

V. CONCLUSIONES

Las pátinas y costras de yeso en los edificios históricos estudiados se producen por deposición de partículas en enlucidos de yeso en unos casos, y por disolución, lavado y reprecipitación de sulfato cálcico a partir del yeso de estos enlucidos. En algún caso, es posible que se tratase incluso de pinturas. La exposición a contaminación atmosférica, agua meteórica y el espesor y porosidad de los enlucidos, son los factores determinantes de la formación de costras y pátinas. La acumulación de partículas y polvo atmosférico en la superficie de estas costras provoca su ennegrecimiento sin implicar necesariamente la neoformación de yeso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGONHA, A. y SEQUEIRA BRAGA, M.A. 1996: "Black crusts and thin black layers in granitic monuments: their characterization and the role of air pollution". *8th International Congress Deterioration and Conservation on Stone* (Berlin, Alemania): 371-375.

BLÁZQUEZ, F.; GARCÍA-VALLÈS, M.; KRUMBEIN, W.; STERFLINGER, K. y VENDRELL-SAZ, M. 1997: "Microstromatolitic deposits on granitic monuments: development and decay". *European Journal of Mineralogy* 9: 889-901.

CABRERA GARRIDO, J.M. 1994: "Los recubrimientos históricos y la protección de la piedra. Las pátinas". En: *Tratamiento y conservación de la piedra en los monumentos.* Colegio de Aparejadores y Arquitectos de Madrid. Madrid: 57-63.

CHABAS, A. y LEFÈVRE, R. 1996: "Origine des constituants des croûtes sulfatées des monuments de Délos (Cyclades-Grèce)". *8th International Congress Deterioration and Conservation on Stone* (Berlin, Alemania): 415-422.

CHABAS, A. y JEANNETTE, D. 2001: "Weathering of marbles and granites in marine environment: petrophysical properties and special role of atmospheric salts." *Environmental Geology* 40: 359-368.

CULTRONE, G.; DE LA TORRE, M.; SEBASTIÁN, J.E M. y CAZALLA, O. 2000: "Behavior of brick samples in aggressive environments". *Water, Air and Soil Pollution* 119: 191-207.

DE VEDIA Y GOSSENS, E. 1845: *Historia y descripción de la ciudad de La Coruña.* Imprenta Domingo Puga. A Coruña.

DEL MONTE, M. y SABBIONI, C. 1984: "Gypsum crusts and fly ash particles on carbonate outcrops". *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology* Series B 35: 105-111.

DORN, R.I. 1998: *Rock coatings.* Elsevier. Amsterdam.

POLIKRETI, K. y MANIATIS, Y. 2003: "Micromorphology, composition and origin of the orange patina on the marble surfaces of Propylaea (Acropolis, Athens)". *The Science of Total Environment* 308: 111-119.

PYE, K. y SCHIAVON, N. 1989: "Cause of sulphate attack on concrete, render and stone indicated by sulphur isotope ratios". *Nature* 342: 663-664.

SANJURJO SÁNCHEZ, J.; VIDAL ROMANÍ, J.R. y ALVES, C.A.S. 2004: "Characterisation typology and origin of patinas in the church of Las Capuchinas, A Coruña (NW Spain)". *6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* (Lisbon, Portugal): 202-206.

SCHIAVON, N. 1993: "Microfabrics of weathered granite in urban monuments". En: M.J.Thiel (ed): *Conservation of stone and other materials,* vol I. E&FN Spon, Chapman & Hal. London: 271-278.

SCHIAVON, N.; CHIAVARI, G.; FABBRI, D. y SCHIAVON, G. 1994: "Microscopical and chemical analysis of black patinas on granite". *3th International Symposium on the conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* (Venecia, Italia): 93-99.

SMITH, B.J.; MAGEE, R.W. y WHALLEY, W.B. 1994: "Breakdown patterns of quartz sandstone in a polluted urban environment, Belfast, Northern Ireland". En: A.R.D. Robinson y R.B.G. Williams (eds): *Rock weathering and Landform evolution.* John Wiley & Sons. Chichester, UK: 131-150

ZEHNDER, K. 1993: "New aspects of decay caused by crystallization of gypsum". En: M.J. Thiel (ed): *Conservation of stone and other materials,* vol I. E&FN Spon Chapman & Hal. London: 107-114.

General

S1 Biomateriales

S2 Datación

S3 Cerámica y vidrio

S3 Lítico

S3 Metales

S4 Prospección geofísica y teledetección

S5 Patrimonio construido y restauración

S6 Pigmentos y pinturas

APORTACIONES AL USO DE PIGMENTOS DURANTE EL NEOLÍTICO ANTIGUO EN LAS COMARCAS CENTRALES VALENCIANAS

CONTRIBUTIONS TO THE USE OF PIGMENTS DURING THE ANCIENT NEOLITHIC IN THE CENTRAL COUNTIES OF VALENCIA

CLODOALDO ROLDÁN[1], JOSÉ L. FERRERO[1], PABLO GARCÍA BORJA[2], INÉS DOMINGO SANZ[2]

(1) ICMUV. Instituto de Ciencia de los Materiales. Universidad de Valencia. P.O. Box 22085. 46071 Valencia.
(2) Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Valencia, Av. Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia.

RESUMEN

La caracterización mineralógica de materias colorantes procedentes de los yacimientos valencianos de la Cova de l'Or, la Cova de la Sarsa y la Cova Fosca de la Vall d'Ebo, mediante técnicas mínimamente invasivas como TXRF y XRD, demuestra el uso de dos tipos de materia colorante durante el Neolítico Antiguo: óxidos de hierro y cinabrio. Las características y distribución geográfica de cada una de ellas nos remiten a dos estrategias distintas de obtención y, probablemente, de utilización de las mismas. También se ha analizado un fragmento de cerámica roja con cérvidos incisos hallado en los niveles neolíticos de la Cova de l'Or. Los análisis no destructivos mediante EDXRF portátil revelan un material cerámico rico en óxidos de hierro y descartan la almagra como técnica de decoración. Los espectros de fluorescencia del pigmento blanco que rellena las incisiones en la superficie cerámica concuerdan con a utilización de sulfato cálcico.

ABSTRACT

The mineralogical characterization of red colouring materials from the Valencian sites of Cova de l'Or, Cova de la Sarsa and Cova Fosca de la Vall d'Ebo, by means of TXRF and XRD, demonstrate the use of two different kind of materials during the Ancient Neolithic: iron oxides and cinnabar. The characteristics and geographical distribution of these two minerals refer to different strategies to obtain and, probably, use them. Also, non-destructive analyses of a red vessel fragment with an incised group of deer from Cova de l'Or has been made by portable EDXRF spectrometry. The results of the elemental analysis of the surface and the ceramic body seem to indicate a ceramic material with high proportion of iron oxide, so the colour of the surface is not the result of a decoration technique as almagre. The white pigment found in the incisions is a calcium based pigment (probably gypsum).

Palabras clave: Cova de l'Or, Cova de la Sarsa, Cova Fosca, Neolítico, Análisis de pigmentos, EDXRF, TXRF, XRD.

Key words: *Cova de l'Or, Cova de la Sarsa, Cova Fosca, Neolithic, Pigment analysis, EDXRF, TXRF, XRD.*

I. INTRODUCCIÓN

Los restos arqueológicos de materias colorantes de origen mineral constituyen uno de los hallazgos más frecuentes de los yacimientos prehistóricos. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados sobre dichos restos se centran principalmente en su morfología, tipología y características macroscópicas. Estos estudios tienen claras limitaciones a la hora de profundizar en cuestiones como procedencia, formas de extracción, procesado, etc., y solamente mediante análisis físico-químicos y estructurales, a partir de técnicas analíticas adecuadas, podemos encontrar respuestas objetivas (Creagh y Bradley, 2000; Chalmin *et al.,* 2003).

El presente trabajo se enmarca en un proyecto más amplio que tiene por objeto la caracterización mineralógica de la materia colorante utilizada durante el neolítico en las comarcas centrales de la Comunidad Valenciana (García Borja *et al.,* 2004, 2006). Aquí se presentan los análisis de restos procedentes de los yacimientos neolíticos de la Cova del'Or (Beniarrés, Alicante) (García Borja *et al.,* 2006), la Cova de la Sarsa (Bocairent, Valencia) y del nivel neolítico de la Cova Fosca de la Vall d'Ebo (Alicante) (García Borja, e.p). Además de los restos de materia prima en bruto y preprocesada, se ha analizado, mediante técnicas no destructivas, la decoración de un fragmento cerámico rojo con cérvidos incisos de color blanco, cuyo objetivo ha sido identificar la técnica decorativa utilizada y la naturaleza de los pigmentos. Las muestras analizadas corresponden a campañas de excavación de la segunda mitad del siglo XX que actualmente se encuentran depositadas en el Museo de Prehistoria de la Diputación Provincial de Valencia, el Museo Arqueológico Municipal "Camil Visedo Moltó" de Alcoi y en el Museo Arqueológico Municipal "Vicent Casanova" de Bocairent.

La excepcionalidad de los restos y las limitadas cantidades de algunos de ellos han inducido a utilizar técnicas analíticas mínimamente invasivas que precisan muy poca cantidad de muestra *(TXRF-Fluorescencia de rayos-X por Reflexión Total, μXRD-Micro-Difracción de Rayos-X y EDXRF-Fluorescencia de Rayos-X Dispersiva en Energía)* (Ardid *et al.,* 2004; Roldán *et al.,* 2006), de manera que, tras los análisis, los restos conservaron su integridad y presencia para ser expuestos de nuevo en las salas de los museos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han analizado seis muestras de colorante procedentes de la Cova de l'Or (muestras 1, 3, 5 y 6), la Cova de la Sarsa (muestra 7) (Pérez Botí, 1999) y la Cova Fosca (muestra 8). Además se han analizado los pigmentos y tipo de decoración de un fragmento cerámico rojo con ciervos incisos en color blanco procedente de la Cova de l'Or. A continuación, vamos a explicar la procedencia de dichas muestras y algunas consideraciones sobre su contexto de aparición.

Muestra 1

La muestra 1 (número de registro 17048 del Museo Arqueológico Municipal de Alcoi) procede de los 1750 gramos de tierra de tonalidad rojiza de gran poder colorante encontrada en el interior de un vaso (fig. 1a) fechado en el nivel Neolítico I de la Cova de l'Or. La materia colorante presenta un calibre heterométrico dado que su granulometría muestra fragmentos de diversa entidad que podrían estar traduciendo un proceso de molturación.

Muestra 3

Corresponde al raspado mediante un escalpelo de un fragmento pétreo de morfología tabular de materia colorante (número de registro 17050 del Museo Arqueológico Municipal de Alcoi) encontrada junto al vaso que contenía la tierra de la muestra 1 cuyo peso es de 200 gramos (fig. 1b). Tras su observación en una lupa de hasta 40x hemos constatado la presencia de estrías paralelas al borde en uno de sus filos. Estas

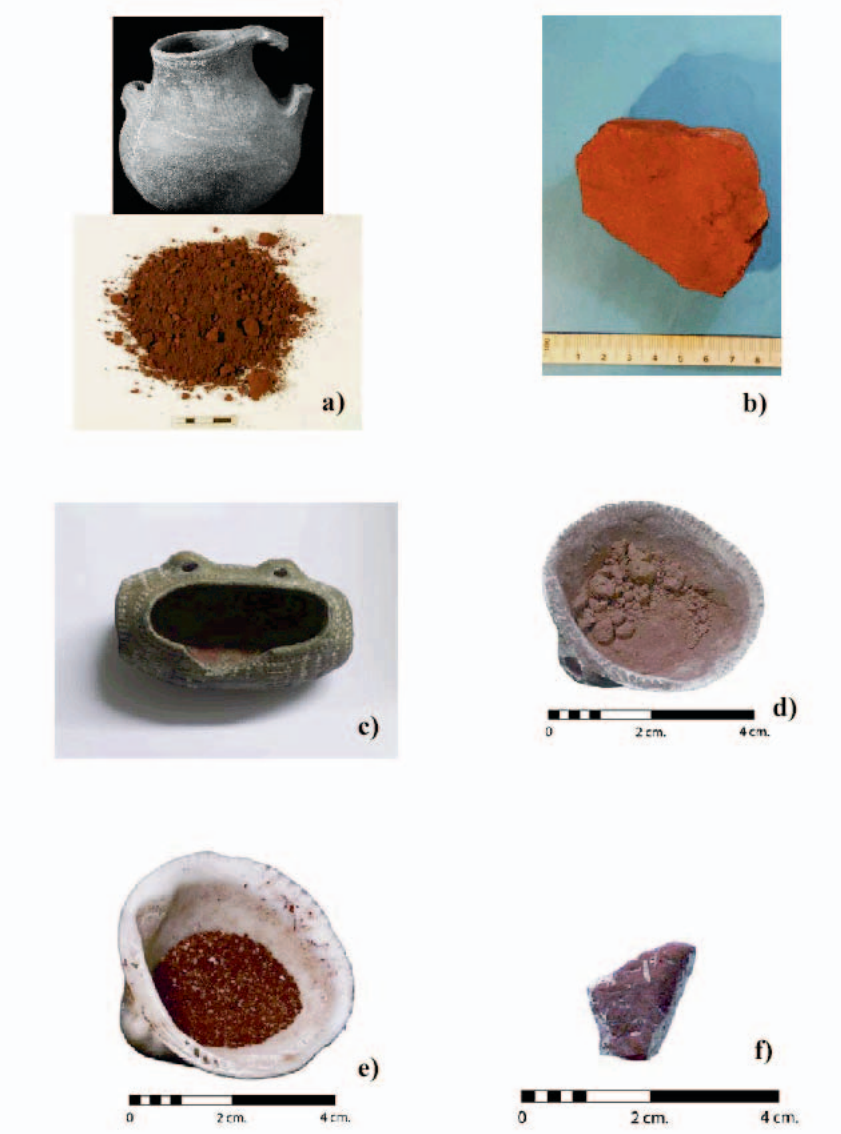


Figura 1. a) Muestra 1, tierra roja y vasija que la contenía (Cova de l'Or). b) Muestra 3, fragmento pétreo de tonalidad roja (Cova de l'Or). c) Muestra 5, materia roja que impregnaba la pared interior del tonelete con impresión incisa cardial (Cova de l'Or). d) Muestra 6, polvo rojo contenido en un *Glycymerys sp* (Cova de l'Or). e) Muestra 7, polvo rojo contenido en un *Glycymerys sp* (Cova de la Sarsa). f) Muestra 8, fragmento pétreo de tonos rojos (Cova Fosca).

marcas indican que el fragmento fue frotado directamente sobre una superficie dura, probablemente algún tipo de roca. También hemos podido constatar restos de pulido en diversas aristas del mismo fragmento. Este pulido podría ser consecuencia de su utilización directa como instrumento de aplicación para pintura sobre materia blanda. La datación corresponde al Neolítico I.

Muestra 5

Pertenece a restos de materia colorante de tonos rojizos encontrada en la parte interna de la base de un pequeño tonelete con decoración impresa cardial (número de registro 9747 del Museo Arqueológico Municipal de Alcoi). Se aprecian abundantes zonas con costras de color blanco por encima del colorante, probablemente formado por procesos de conservación en la misma cueva una vez deja de ser utilizado el vaso (fig. 1c). La cronología más probable para este tipo de recipientes, que generalmente presentan una buena tecnología de fabricación, está encuadrada dentro del Neolítico Antiguo Cardial o Neolítico IA.

Muestra 6

Esta muestra analiza parte de la materia colorante en polvo de tonos rojos que contenía un *Glycymerys* sp de la Cova de l'Or (fig. 1d), que se exhibe en una de las vitrinas del Museu de Prehistoria de la Diputació Provincial de València. La información que poseemos sobre su posición estratigráfica indica una cronología entre el 5200 y el 4500 AC, aunque cabe la posibilidad de datarla en un momento posterior, que en todo caso no iría más allá del 3900 cal BC.

Muestra 7

Pertenece a restos de polvo de materia colorante de tonos rojos también depositados en el interior de un *Glycymerys* sp, procedente de la Cova de la Sarsa (fig. 1e). Cabe destacar que cuando se encontró la pieza se detectó la presencia de una capa de color blanco por encima de los restos de colorantes depositados en la concha. La pieza se encuentra depositada en el Museu Arqueològic Municipal Vicent Casanova de Bocairent. Pese a que no poseemos referencias estratigráficas, tanto por su contexto de aparición como por los estudios realizados sobre el material arqueológico aparecido en el yacimiento podríamos datar la pieza en el Neolítico Antiguo Cardial (5600-5000 AC) (Pérez Botí, 1999).

Muestra 8

Pertenece al raspado de un pequeño fragmento tabular informe de colorante de tonos rojos (fig. 1f) aparecido en el nivel II de un sondeo realizado en la Cova Fosca de la Vall d'Ebo. Pese a que el material proviene de un pequeño sondeo de 1 x 1 metros realizado en la conocida cavidad, el material asociado a la pieza nos remite a un contexto Neolítico Antiguo Cardial (5600-5200 AC) (García Borja, e.p.).

Muestra 9

Tipológicamente se trata de un fragmento informe con decoración incisa rellenada con pasta blanca (fig. 2). La pasta cerámica contiene abundante desgrasante inorgánico de esfericidad baja y forma angulosa con ordenación pobre. La superficie externa parece que estuvo sometida a un proceso de bruñido, si bien se encuentra algo erosionada. El núcleo es de color negro, aunque delimitado por márgenes difusos que desaparecen unos milímetros antes de llegar a la superficie del fragmento, donde encontramos una línea de color rojo intenso, probablemente fruto de una cocción oxidante. El estilo decorativo del fragmento es muy particular, al presentar en su superficie externa restos de tres cuadrúpedos incisos, de los que tan sólo uno se conserva completo. Se trata de figuras sumamente esquemáticas, en las que su anatomía corporal ha quedado reducida a simples trazos lineales. Una incisión de recorrido horizontal corresponde al cuerpo y diversas incisiones verticales representan las extremidades, el rabo en disposición erguida, el cuello alargado y la cornamenta en v (Martí, 2000; Martí y Juan-Cabanilles, 2002).

Uno de los objetivos de este trabajo es determinar, mediante técnicas no destructivas, la técnica de decoración de la pieza (almagra, aguada…) caracterizando la materia colorante superficial y el pigmento blanco utilizado en las incisiones zoomorfas. Los análisis se efectuaron *in situ* en el Museo de Prehistoria de Valencia, donde está expuesta la pieza.

Instrumentación analítica

Los estudios analíticos que se detallan en los siguientes apartados, han sido llevados a cabo por el Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universitat de València (ICMUV). Las seis muestras de materia colorante en polvo (muestras 1, 3, 5, 6, 7 y 8) se analizaron mediante Fluorescencia de Rayos-X por Reflexión Total (TXRF) y por Difracción de Rayos-X (XRD) en los laboratorios del ICMUV. El fragmento cerámico con ciervos incisos (muestra 9) se analizó mediante un equipo portátil de Fluorescencia de Rayos-X Dispersiva en Energía (EDXRF) en las salas del Museo de Prehistoria de Valencia.

Los análisis TXRF se realizaron con un espectrómetro PicoTax dotado con un tubo de rayos-X de molibdeno operando con un potencial 30 kV y una corriente de 0.5 mA. La detección de la radiación fluorescente emitida por la muestra se realizó en geometría de reflexión total mediante un detector Si-PIN refrigerado termoeléctricamente y con una resolución de 160 eV (FWHM a 5.9 keV). Las características de esta técnica permiten analizar pequeñas cantidades (del orden de µg) que se depositan sobre discos de material plástico.

Para la identificación de fases cristalinas mediante XRD se utilizó un difractómetro Seifert XRD 3003 TT equipado con un tubo de Rayos-X de cobre con monocromador primario y detector posicional MBraun PSD-500. Las condiciones de medida fueron prefijadas con una corriente de 40 mA y un potencial de 40 kV cubriendo un intervalo angular 2θ entre 2º y 70º con un intervalo de paso de 0.08º. Las muestras, previamente molturadas manualmente en mortero de ágata se incorporaron al difractómetro para realizar los análisis. La identificación de fases se realizó a partir de la comparación con una base de datos basada en patrones JCPDS.

Los análisis EDXRF del fragmento cerámico de la Cova de l'Or se realizaron mediante equipo portátil integrado por:

- un tubo de rayos-X con ánodo de Pd que trabaja a un potencial de 30 kV y a una intensidad de 0.1 mA.
- un colimador del haz de 3 mm de diámetro que delimita el área analizada sobre el objeto.
- un detector de Si (-SDD) de 160 eV de resolución energética (FWHM @ 5.9 MeV), ventana de Be de 8 µm y refrigerado termoeléctricamente.
- un analizador multicanal y un sistema de control informático.

Mediante este espectrómetro se registraron espectros EDXRF de cinco puntos del fragmento (fig. 2) correspondientes a la superficie externa (1), la zona exterior de la sección lateral (2), la zona central de la sección lateral (3), la superficie interna (4) y la incisión blanquecina que conforma los cérvidos (5). En la selección de los puntos se tuvo en cuenta aquellos que presentaban las condiciones óptimas para diferenciar la presencia de almagra entre la capa externa y la interna, es decir, aquellas zonas superficiales que visualmente presentaban una tonalidad roja mas intensa y que, de no mostrar diferencias entre sí, nos permitirían señalar que tampoco las hubiera entre el resto de los puntos de la pieza. El área irradiada en cada uno de los puntos fue de 8 mm 2 durante 150 segundos, suficiente para obtener espectros de

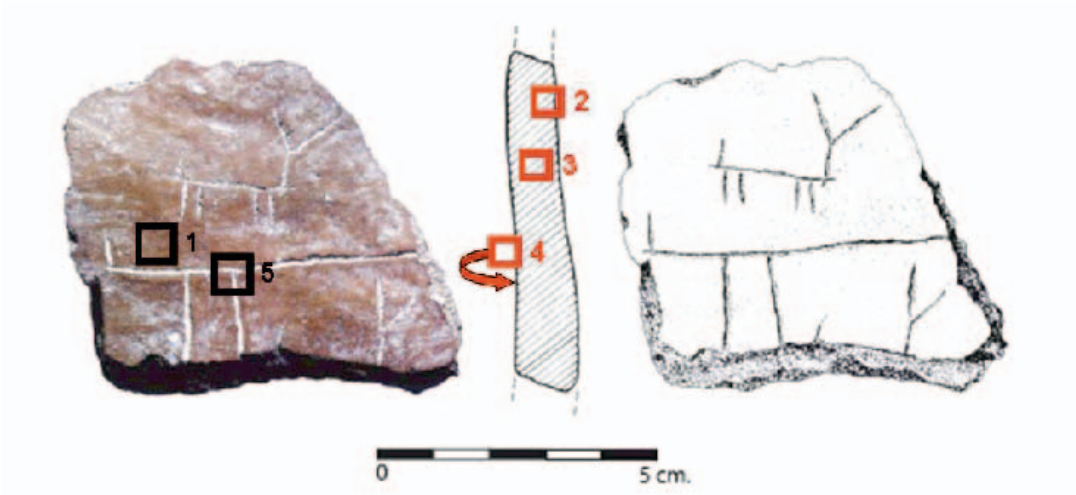


Figura 2. Fragmento informe con decoración incisa de cuadrúpedos esquemáticos rellenada con pasta blanca. Sobre la figura se han indicado las zonas analizadas mediante EDXRF.

rayos-X con buena estadística. Los espectros de fluorescencia se han normalizado al número total de cuentas del espectro con el fin de comparar los resultados de las diversas muestras y determinar si existen diferencias de composición que nos permitan certificar o descartar la utilización de la técnica de la almagra (o la aguada) para colorear la superficie de la pieza.

III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Análisis comparativo de la materia colorante de las muestras 1, 3, 5, 6, 7 y 8.

- **Muestra 1.** La espectrometría TXRF detecta intensas líneas de fluorescencia de hierro como componente mayoritario; calcio y plomo como elementos minoritarios y aluminio, titanio (superpuesto al pico de escape del hierro), manganeso, zinc y cobre como elementos traza (fig. 3). En los difractogramas de esta muestra se identificaron calcita ($CaCO_3$) y hematites (α-Fe_2O_3) y la presencia minoritaria de cuarzo (SiO_2) (fig. 4).
- **Muestra 3.** En el espectro TXRF de esta muestra se identifica hierro como elemento mayoritario y calcio, compatibles con la presencia de óxidos de hierro y compuestos calizos. También se identifican aluminio, potasio, titanio (superpuesto al pico de escape del hierro), manganeso, cobre, zinc y plomo como elementos traza. La presencia de estroncio está ligada al calcio (fig. 3). El análisis mediante XRD presenta un difractograma en el que se identifican calcita y hematites como componentes principales (fig. 4).
- **Muestra 5.** Los análisis TXRF indican la presencia de hierro y calcio como elementos mayoritarios. A nivel de trazas se detectan elementos metálicos como titanio, níquel, plomo y manganeso y elementos ligeros como aluminio, silicio, fósforo y potasio. En este espectro destaca nuevamente la presencia de zinc pero, en cambio la presencia de plomo es notoriamente inferior a las muestras 1 y 3. La presencia de estroncio está ligada al calcio (fig. 3). Los difractogramas identifican la presencia de calcita, cuarzo y hematites (fig. 4).
- **Muestra 6.** Los espectros TXRF del colorante contenido en la concha de la Cova de l'Or indican la existencia de mercurio y azufre con trazas de hierro y calcio (fig. 3). Los análisis de micro-difracción indican la presencia de los patrones del cuarzo y del cinabrio (HgS) (fig. 4). Se trata por tanto de una materia colorante roja a base de cinabrio. Los resultados obtenidos no permiten precisar la existencia de cargas añadidas, por lo que estamos sencillamente ante mineral de cinabrio transformado en polvo.
- **Muestra 7.** Los El espectro TXRF del colorante de la concha de la Cova de la Sarsa muestra la presencia de calcio y hierro como elementos mayoritarios. Los elementos minoritarios son silicio, potasio y titanio (impureza del hierro) y los elementos traza son zinc, rubidio (ligado al potasio) y estroncio (ligado al calcio) (fig. 3). Los análisis XRD indican la presencia de los patrones de difracción del cuarzo y calcita (fig. 4). De estos análisis se deduce que se trata de una mezcla de óxidos de hierro rojo, calcita y cuarzo. Los óxidos rojos de hierro no se aprecian en la difracción, en la que la calcita es predominante. En cuanto a la calcita, no podemos asegurar que su presencia se deba a su adición como carga, ya que durante la recogida de la muestra, se rascó con una espátula un depósito de polvo fino sobre el que existía una capa blanca, que pasó a formar parte de la misma. La presencia de calcita como elemento de carga documentado en anteriores trabajos nos hace ser cautos y contemplar dicha posibilidad. El polvo de la concha es muy fino, por lo que probablemente proviene de un proceso de molturación o raspado, aunque es difícil precisar si fue tamizado.
- **Muestra 8.** El espectro TXRF del fragmento pétreo de la Cova Fosca muestra la presencia de hierro y calcio como elementos mayoritarios. Elemento minoritario es el manganeso (que probablemente esté ligado al mineral de hierro), mientras que silicio, potasio y titanio constituyen elementos traza del material (fig. 3). La detección de zinc plomo apenas se puede diferenciar del fondo espectral. Los análisis XRD muestras la intensa presencia de los patrones de difracción de cuarzo y calcita, por el contrario el patrón de difracción de la hematita muestra una débil intensidad (fig. 4).

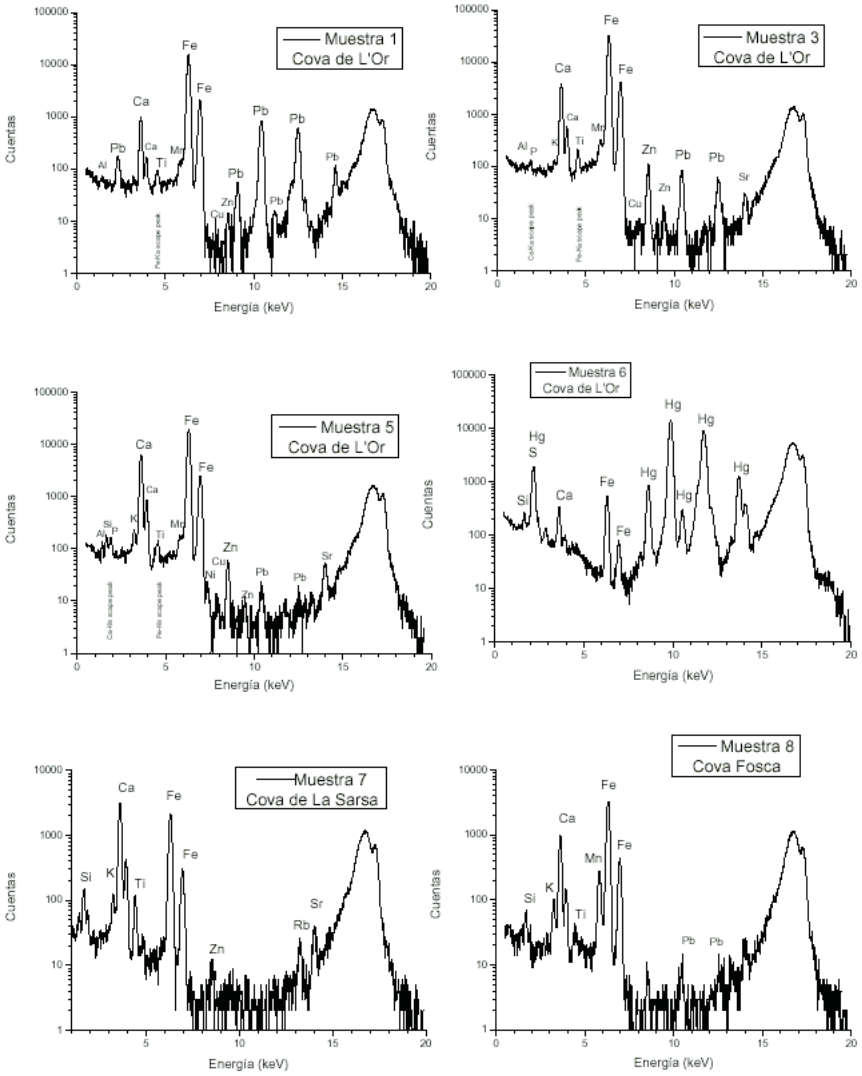


Figura 3. Espectros TXRF de las diferentes muestras analizadas.

En líneas generales podemos concluir que los análisis TXRF de las muestras indican la presencia de óxidos de hierro, salvo en la muestra 6 que se identifica como cinabrio. Las impurezas de manganeso, cobre, zinc y plomo, presentes como elementos traza en las muestras estudiadas podrían ser utilizados como elementos clave para estudiar la procedencia de los óxidos de hierro, siempre en un marco más general de establecimiento de una base de datos local sobre la materia prima de la materia colorante, marcando similitudes entre las muestras de una misma cueva o entorno (la Cova de l'Or en este caso) y diferencias entre los materiales de cuevas o entornos diferentes.

Análisis no destructivos de la muestra 9, fragmento cerámico de la Cova de l'Or

De los resultados obtenidos podemos destacar que los elementos detectados en las superficies interior y exterior y en la sección lateral son Fe y Ca como mayoritarios, Si, K y Ti como minoritarios y Mn, Cu, Zn Rb y Sr como elementos traza. Hay que señalar el hecho diferencial de la detección de S en la superficie exterior y en la sección lateral, pero no en la cara interna del fragmento (fig. 5). El análisis comparativo de las zonas analizadas en la sección lateral (puntos 2 y 3) no presenta diferencias espectrales entre ambos,

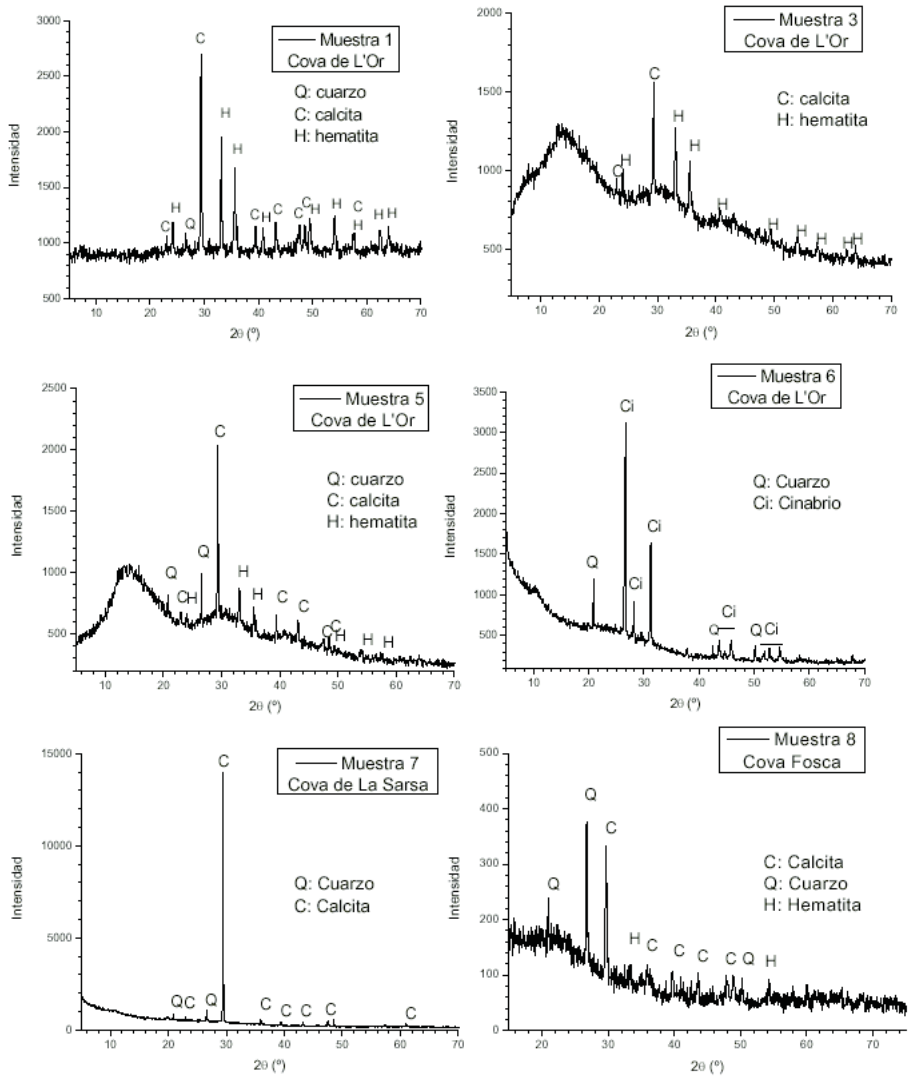


Figura 4. Espectros XRD de las muestras analizadas.

mostrando una misma composición elemental, contrariamente a lo que cabría esperar de haberse aplicado una potente capa de engobe rojo superficial, que debería traducirse en un cierto aumento en la proporción de Fe a medida que nos acercamos a la superficie.

La comparación de los espectros EDXRF entre la superficie externa e interna tampoco permite determinar la aplicación de un pigmento rojo, ya que apenas se observan variaciones en la cantidad de Fe presente en ambas caras. El análisis revela que estamos ante un material cerámico con óxidos de hierro, compuestos de calcio y cuarzo, al cual se puede atribuir la presencia de silicio, potasio, calcio, titanio, manganeso, hierro, rubidio y estroncio. Así, pese a que visualmente la superfície externa presenta tonos rojos más intensos, las diferencias entre las dos caras no afectan a la intensidad de las líneas de fluorescencia del Fe.

La detección de S en la superficie exterior y la sección lateral, combinada con una mayor intensidad del pico de Ca (S y Ca pueden ser los componentes del sulfato cálcico: yeso) inducen a considerar que su

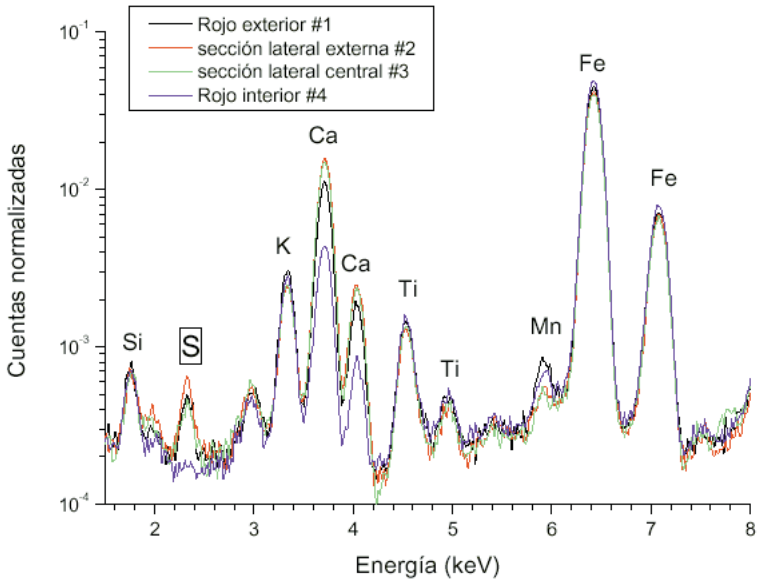


Figura 5. Comparación de los espectros TXRF de las distintas zonas analizadas en el fragmento cerámico con cérvidos incisos.

presencia sea debida a la pátina blanquecina que se observa sobre estas zonas de la pieza. No obstante, la presencia de azufre no sólo en la cara externa sino también en los laterales, podría deberse a una contaminación del fragmento durante las tareas de sulfatación de las salas del museo.

El análisis comparativo mediante XRF entre la cara exterior roja y la incisión rellena de pasta blanca del fragmento se presenta en los espectros consignados en la fig. 6, y se evidencia que la diferencia más significativa entre ambas es una mayor intensidad de calcio (Ca) y fósforo (P) en el interior de la incisión. Si calculamos el área relativa Ca/Fe en cada uno de los espectros XRF correspondiente a los cinco puntos analizados (fig. 7), podemos observar que la relación Ca/Fe es máxima para el material blanco que rellena la incisión (punto de muestreo 5), presentando un valor entre 3 y 10 veces superior al resto de puntos analizados.

Este hecho indica la superposición de la sustancia blanca sobre el cuerpo cerámico potenciando la fluorescencia del calcio y atenuando la del hierro. La presencia de un pico de fluorescencia de fósforo, más intenso en el material de relleno y que no es tan significativo en el resto de espectros, podría ser debida a la utilización de fosfato cálcico. No obstante, la superposición la línea de fluorescencia de escape-Kα del calcio con la línea de fluorescencia Kα del fósforo, nos obliga a contemplar con cautela esta hipótesis.

Así pues, la intensidad de los picos de Fe es similar en todos los puntos de muestreo y puede deberse a la composición natural de la materia prima empleada, arcillas ferruginosas, o a una adición intencional por sus cualidades como fundente, ya que contribuye a la reafirmación de la pasta por su fusibilidad. La combinación de una atmósfera oxidante en algún momento de la cocción y la presencia de Fe en la pasta, pudo actuar como factor colorante de la superficie, descartando la técnica de la decoración a la almagra. Por otra parte, la materia blanca que recubre el interior de la decoración incisa de la muestra permite ratificar la adición de una sustancia blanca rica en Ca, con objeto de realzar su ornamentación.

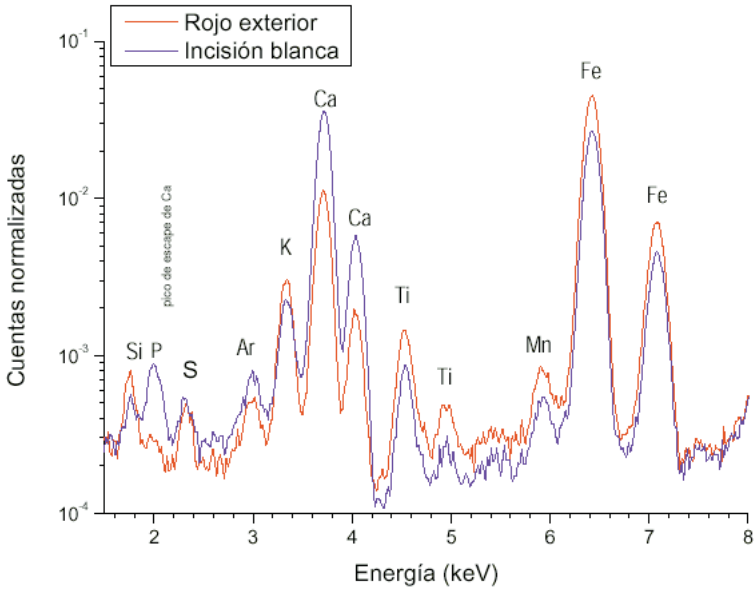


Figura 6. Espectros TXRF de la superficie roja y el pigmento blanco del fragmento cerámico con cérvidos incisos.

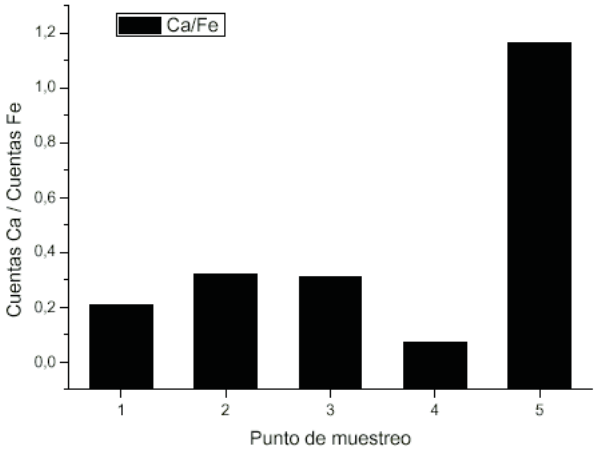


Figura 7. Relaciones Ca/Fe entre las áreas de las líneas de fluorescencia de las diferentes zonas analizadas en el fragmento cerámico con cérvidos incisos (los números corresponden a las zonas indicadas en la fig. 2).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio de Investigación Prehistórica y al Museo de Prehistoria de la Diputación Provincial de Valencia, al Museo Arqueológico Municipal "Camil Visedo Moltó" de Alcoi y al Museo Arqueológico Municipal "Vicent Casanova" de Bocairent, las facilidades prestadas a la hora de realizar los estudios que presentamos. Del mismo modo, queremos mostrar nuestro agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología y a la Agencia Valenciana de Ciencia y Tecnología por la financiación prestada bajo los proyectos de investigación BHA2003-05800 y Grupos 03/192.

REFERENCIAS

ARDID, M.; FERRERO, J.L.; JUANES, D.; LLUCH, J.L.; ROLDÁN, C. 2004: “Comparison of total-reflection X-ray fluorescence, static and portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometers for art and archaeometry studies”. *Spectrochimica Acta Part B* 59: 1581-1586.

ANDERSON, J. 2000: *The Science and Archaeology of Materials.* Routledge.

CREAGH, D.C.; BRADLEY, D.A (Eds.). 2000: *Radiation in Art and Archaeometry.* Elsevier Science.

CHALMIN, E.; MENU, M.; VIGNAUD, C. 2003: “Analysis of rock art painting and technology of Palaeolhitic painters”. *Measurement Science and Technology,* vol. 14: 1590.

GARCÍA BORJA, P.; DOMINGO, I.; ROLDÁN, C.; VERDASCO, C.; FERRERO, J.; JARDÓN, P. y BERNABEU, J. 2004: "Aproximación al uso de la materia colorante en la Cova de l´Or". *Recerques del Museu d´Alcoi* 13. Alcoi: 35-52.

GARCÍA BORJA, P.; DOMINGO, I.; ROLDÁN, C. 2006: “Nuevos datos sobre el uso de materia colorante durante el Neolítico antiguo en las comarcas centrales Valencianas”. *SAGVNTVM (P.L.A.V.)* 38: 49-60.

GARCÍA BORJA, P. (e.p.): “Anàlisis tipològic d’una col·lecció de Ceràmica prehistòrica recuperada a la Cova Fosca de la Vall d’Ebo”. *Alberri* 17.

MARTÏ, B. 2000: "La Cova de l’Or (Beniarrés)" En AURA TORTOSA, J.E. y SEGURA MARTÍ, J.M., (coords.): *Catàleg del Museu Arqueològic Municipal Camil Visedo Moltó de Alcoi.* Alcoi: 67-70.

MARTÍ, B. y JUAN-CABANILLES, J. 2002: “La decoració de les ceràmiques neolítiques y la seua relació amb les pintures rupestres dels abrics de la Sarga”. En HERNÁNDEZ, M. y SEGURA, J.M. (coords.): *La Sarga. Arte Rupestre y Territorio.* Ayuntamiento de Alcoi y Caja de Ahorros del Mediterráneo. Alcoi: 147-170.

PÉREZ-BOTÍ, G. 1999: “La Cova de la Sarsa (Bocairent, Valencia).La colección Ponsell del Museo arqueológico municipal de Alcoi”. *Recerques del Museu d´Alcoi* 8: 89-109.

ROLDÁN, C.; MURCIA-MASCARÓS, S.; FERRERO, J.; VILLAVERDE, V.; MARTÍNEZ, R.; GUILLEM, P.; LÓPEZ, E. 2006: *“In situ* analysis of Neolithic black and red rock art pigments from Saltadora Caves (Spain) by portable EDXRF spectrometry”. *EXRS-2006, European Conference on X-Ray Spectrometry,* Paris, 19-23 June, 2006.

ESTUDIO TÉCNICO DE LA PINTURA PARIETAL ROMANA. ANÁLISIS DE FRAGMENTOS PROVENIENTES DE VILLA DEI PAPIRI (HERCULANO) Y DEL JARDÍN DE LA CASA DEL BRACCIALE D'ORO (POMPEYA)

TECHNICAL STUDY OF ROMAN WALL PAINTINGS. ANALYSIS OF SAMPLES COMING FROM VILLA DEI PAPIRI (HERCULANEUM) AND BRACCIALE D'ORO GARDEN (POMPEII)

ADRIÁN DURÁN BENITO[1,2*], EDUARDO MILLÁN SAÑUDO[3], Mª CARMEN JIMÉNEZ DE HARO[1], JUAN F. CÁRCELES PASCUAL[3], ÁNGEL JUSTO ERBEZ[1], JOSÉ LUIS PÉREZ-RODRÍGUEZ[1]

(1) Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla), Grupo de Investigación FQM-187. Avda. Américo Vespucio, s/n. 41092 Isla de la Cartuja (Sevilla).
(2) European Radiation Synchrotron Facility. Rue Jules Horowitz, 6 – B.P.220, F-38043, Grenoble CEDEX, France.
(3) Facultad de Bellas Artes de Sevilla, Departamento de Pintura. Grupo de Investigación HUM-467 PAI. Calle Laraña 3, 41005 (Sevilla).
* corresponding author: adrian@icmse.csic.es

RESUMEN

Las decoraciones parietales de la Hispania romana que han llegado hasta nosotros son muy escasas y de una calidad pictórica limitada. Por ello, nuestro campo de estudio se centra en muestras procedentes de Pompeya y Herculano, que son de una altísima calidad pictórica y que ofrecen un excelente estado de conservación. Los nuevos métodos de análisis y los avances científicos nos han ayudado al esclarecimiento de algunas de las claves del procedimiento parietal romano. En las muestras estudiadas, se ha detectado la presencia de pigmentos como hematites, azul pompeyano, bermellón, tierra roja, negro de huesos, carbón vegetal y tierra verde. La capa superficial del mortero solo muestra la presencia de calcita; se trata por lo tanto de una técnica muy depurada. La técnica pictórica empleada es la del *buono fresco* en los fondos monocromos y una segunda técnica *a secco* en zonas ornamentales y figuradas, en las que se han detectado compuestos de tipo proteínico.

ABSTRACT

The wall paintings of the Roman Hispania that have survived up to our time are very scarce and of a limited pictorial quality. For this reason, our studies are centred on samples coming from Pompeii and Herculaneum, which are of a highest pictorial quality and an excellent conservation state. The new methods of analysis and the scientific advances have helped us in the clarification of some of the keys of the Roman wall painting procedures. In the studied samples, pigments such as haematite, Pompeian blue, vermilion, red earths, bone black and green earth have been detected. The superficial layer of the studied mortar shows the presence of calcite, therefore, the technique used is very elaborated. The pictorial technique used is buono fresco in the monochrome background and a secco in the ornamental and figurative areas, where compounds of proteinic type have been detected.

Palabras clave: pintura parietal romana, Pompeya, Herculano, azul pompeyano, buon fresco, a secco.

Key words: *Roman wall paintings, Pompeii, Herculaneum, Pompeian blue, buon fresco, a secco.*

I. INTRODUCCIÓN

El 24 de agosto del año 79 d.C., una formidable erupción del Vesubio destruyó algunas de las ciudades más importantes y florecientes de la Campania romana situadas al sur de Nápoles. La víctima más célebre de la catástrofe fue Pompeya, que quedó sepultada por una costra de lava solidificada y cenizas de seis metros de altura; pero la misma suerte le tocó a Herculano y a Oplontis, un centro residencial que se había desarrollado junto al territorio de Pompeya. Esta famosa erupción es descrita por Plinio el Joven en forma de dos cartas enviadas al historiador Tacitus, en las que informaba de la muerte de su tío, Plinio el Viejo (Zanella *et al.,* 2000: 227-2401).

Las excavaciones en esta área comienzan en 1709, fecha a partir de la cual se comienza a despertar entre los estudiosos europeos del arte clásico, un creciente interés en todo lo referente a los restos de civilización romana encontrados.

Entre todas las disciplinas analizadas, la pintura parietal romana empieza a sembrar las primeras dudas en lo que concierne a la técnica empleada en su ejecución. Durante aproximadamente dos siglos, especialistas de todo el mundo han intentado indagar en las claves del procedimiento parietal romano, siendo muchas y muy variadas las hipótesis a este respecto (frescos, temples, encáustica, temples sobre frescos, encaustos sobre temples, etc.).

Los nuevos métodos de análisis y los avances científicos, aplicados sobre los vestigios pictóricos, nos pueden ayudar a aclarar el oscurantismo reinante a este respecto. En los últimos años, se han llevado a cabo numerosos estudios acerca de pinturas murales romanas en Italia, Francia, Suiza y España (Delamare *et al.,* 1982: 71-86; Frizot, 1982: 47-59; Edreira *et al.,* 2001: 331-345; Domenech-Carbo *et al.,* 1996: 207-215).

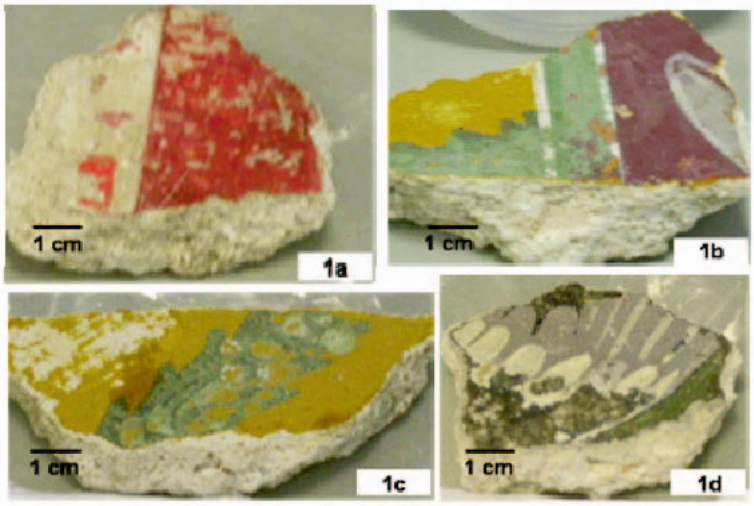


Figura 1. Fotografías de muestras procedentes del Jardín de la Casa del Bracciale d'Oro: (a) muestra 5 (5 Pompeya 19), (b) muestra 8 (8 Pompeya 18); (c) muestra 4 (4 Pompeya 15); (d) muestra 7 (7 Pompeya 22).

Dado que las decoraciones parietales de la Hispania romana que han llegado hasta nosotros son muy escasas y de una calidad pictórica algo limitada, nuestro campo de estudio se centra en muestras procedentes de Pompeya y Herculano, muestras de una altísima calidad pictórica, que ofrecen un excelente estado de conservación y que no han sido sometidas a restauración alguna. Para ello, hemos tenido que acceder a pequeños fragmentos pictóricos descontextualizados, sin dañar en modo alguno decoraciones parietales de cierta relevancia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1. Materiales

Hemos accedido a pequeños fragmentos pictóricos, procedentes de Pompeya y Herculano. Tres muestras proceden de la Villa dei Papiri, settore dell'Insula di Vico Mare (Herculano) y un total de siete proceden del Jardín de la Casa del Bracciale d'Oro, Regio VI, 17 (Ins. Occ.), 42 (Pompeya). Algunas de las muestras pertenecientes a las muestras pompeyanas de la Casa del Bracciale d'Oro se exponen en la Figura 1.

II.2. Métodos

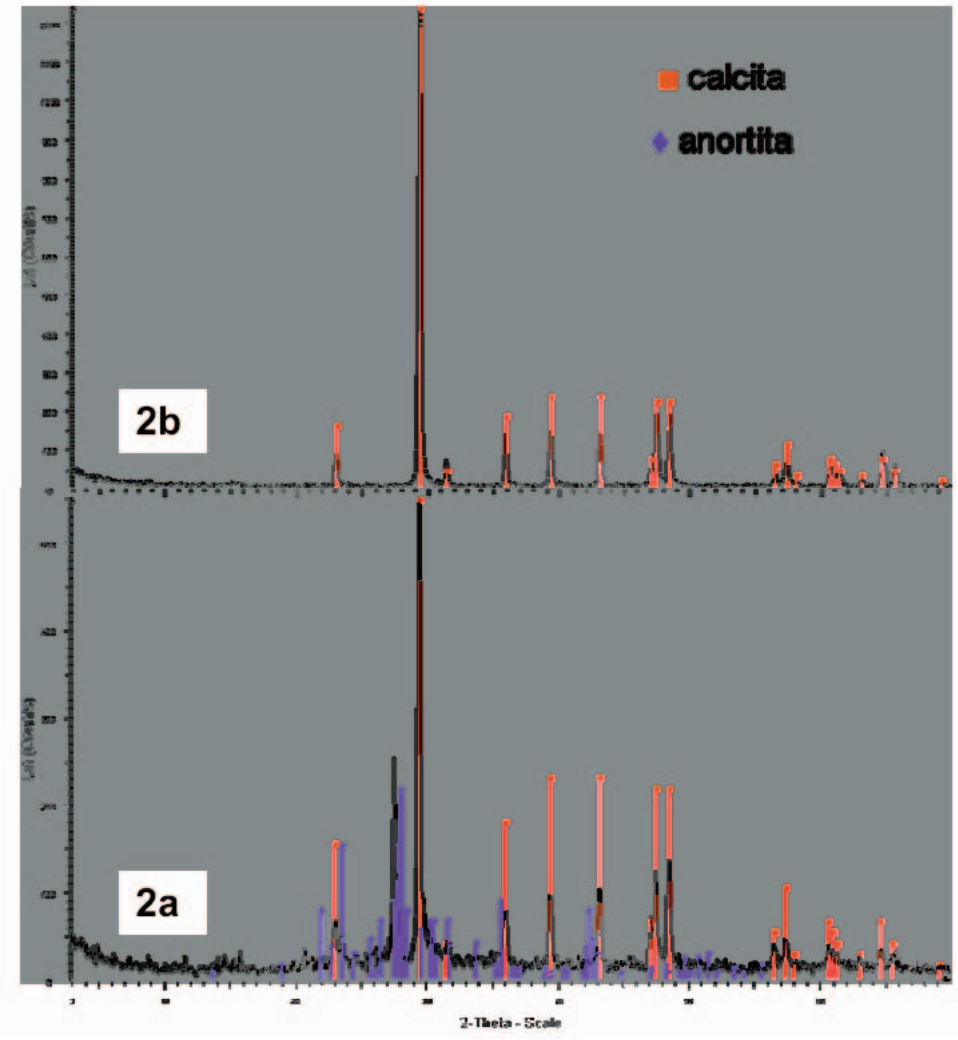


Figura 2. Difractogramas de rayos X correspondientes a: (a) capas internas, "trusilar" y "arricciato", del mortero de la muestra 8 (8 Pompeya 18), que muestra la presencia de calcita (■) y anortita (♦); (b) capa superficial, "intonaco", del mortero de la muestra 8 (8 Pompeya 18), que muestra la presencia de calcita (■).

El primer paso y el más crítico es la preparación de estratigrafías para el entendimiento de la naturaleza física de la superficie pictórica, visualizando la degradación, y pudiendo incluso contribuir a la revelación de las técnicas pictóricas empleadas (uso de pigmentos, medios aglutinantes, etc.). Partiendo de una placa de polimetacrilato, se practica una oquedad en la que se introduce la muestra, rellenando hasta

enrasar con una resina acrílica en forma líquida que se polimeriza posteriormente para endurecerla, la preparación se corta perpendicularmente a los estratos y se pule hasta dejar expuesta la superficie que se desea analizar (Khandekar, 2003: 52- 64; Durán, 2006).

Posteriormente, las muestras, embutidas en el interior de las estratigrafías, se han estudiado mediante microscopia óptica (microscopio óptico Nikon con objetivos x25, x50, x100, x200), espectroscopia de infrarrojos en modo reflexión (espectrómetro Nicolet 510 y detector DTGS con microscopio incorporado), y microscopia electrónica de barrido con analizador elemental por energías dispersivas de rayos X incorporado (microscopio electrónico JEOL JSM-5400 y analizador Link OXFORD).

Con otra parte de la muestra no se hace estratigrafía y se estudia mediante difracción de rayos X (difractómetro con ángulo rasante Siemens D5000 con monocromador de LiF en el haz difractado y rendijas soller largas de 0.4º) y espectroscopia de infrarrojos en modo transmisión (espectrómetro Nicolet 510 y detector DTGS).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

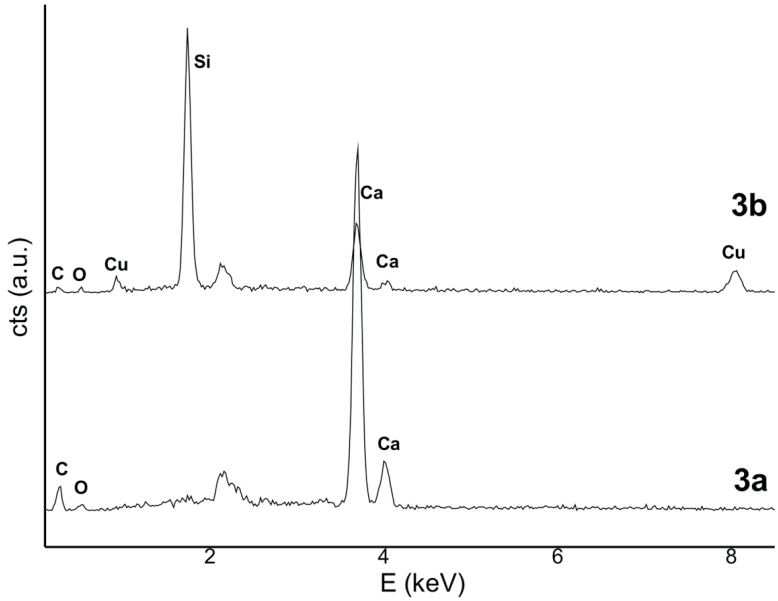


Figura 3. Análisis elemental EDX de: (a) calcita detectado en el estrato superficial del mortero sobre el que se deposita las capas polícromas de la muestra 8 (8 Pompeya 18), que presenta los elementos Ca, C y O; (b) azul pompeyano detectado en los estratos de color azul de la muestra 4 (4 Pompeya 15), que presenta los elementos Si, Ca, Cu, C y O

III.1. Estudio del soporte mural

El estudio del muro sobre el que se depositó la pintura fue realizado mediante técnicas de difracción de rayos X, análisis elemental por energías dispersivas de rayos X y espectroscopia de infrarrojos. Se observaron las tres capas clásicas en la pintura mural (Durán, 2006; Mora y Phillipot, 1984). La primera, "trusilar" y la segunda, "arricciato" mostraron la presencia de carbonato de calcio y arena limpia (anortita sódica, $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$), proponiéndose la marmolina (calcita) como el tercer componente (Fig. 2a). La tercera capa, más externa, "intonaco", sin embargo, sólo mostró la presencia de carbonato de calcio, que asignamos a la presencia exclusiva de cal o con una pequeña cantidad de marmolina, usada como árido (Fig. 2b). En este último caso, el análisis por EDX sólo indicó la presencia de calcio, carbono y oxígeno en dicho estrato (Fig. 3a), y el análisis por espectroscopia de infrarrojos, las bandas correspondientes a carbonatos (bandas a 1455 cm^{-1} y 873 cm^{-1}) (Fig. 4a).

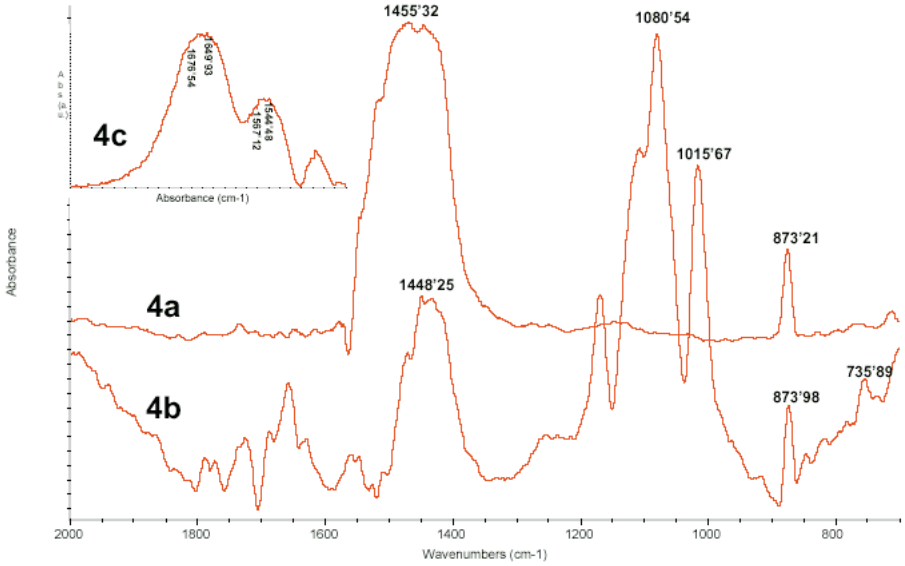


Figura 4. Espectros de IR correspondientes a: (a) Estrato superficial del mortero de la muestra 8 (8 Pompeya 18), que muestra la presencia de bandas de carbonatos (1455 cm^{-1}, 873 cm^{-1}); (b) Estrato azul de la muestra 4 (4 Pompeya 15), que muestra la presencia de bandas de silicatos (1080 cm^{-1}, 1015 cm^{-1}, 735 cm^{-1}) y carbonatos (1448 cm^{-1}, 873 cm^{-1}); (c) Estrato superficial de la muestra 5 (5 Pompeya 19) que muestra restos de aglutinantes proteínicos, bandas a 1676 cm^{-1}, 1649 cm^{-1}, 1567 cm^{-1} y 1544 cm^{-1}.

III.2. Estudio de la capa pictórica

Los resultados de las muestras estudiadas indican la presencia de pigmentos como hematites (Fe_2O_3, óxido de hierro anhidro), azul egipcio o pompeyano ($CaO.CuO.4SiO_2$, mezcla de vidrios de cobre y calcio), bermellón (HgS, sulfuro de mercurio), tierra roja (arcillas y Fe_2O_3), carbón vegetal (carbono, C), negro de huesos (mezcla de carbono, C, fosfato de calcio, $Ca_3(PO_4)_2$ y carbonato de calcio, $CaCO_3$) y tierra verde (mezcla de silicoaluminatos de hierro, magnesio y potasio). En la Tabla 1 se exponen los pigmentos hallados en los dos grupos de muestras estudiadas. Los pigmentos hallados son muy empleados en pinturas murales realizadas al *buono fresco*.

Destaca la presencia del pigmento azul pompeyano (también conocido como azul egipcio), pigmento que no se ha detectado en obras de otras épocas, como el Renacimiento o el Barroco. Obras pertenecientes a los siglos XVI, XVII y XVIII de toda Andalucía han sido muy estudiadas en nuestro laboratorio, dentro del programa "Andalucía Barroca" (Durán, 2006; Herrera *et al.,* 2007:10-14). El azul pompeyano o egipcio es un pigmento artificial, que se prepara por calentamiento de una mezcla que contiene sílice (SiO_2), compuestos de cobre (posiblemente malaquita, $CuCO_3$), carbonato cálcico ($CaCO_3$) y natrón (sesquicarbonato sódico, Na_2CO_3). Laurie, McLintock and Miles llevaron a cabo una investigación de los métodos de preparación del azul egipcio, en el que se determinó un rango de temperaturas entre 800º y 900ºC para la obtención del mismo (Gettens y Stout, 1966: 112-114; Laurie *et al.,* 1914: 418-429). Es un pigmento muy resistente, insoluble en ácidos y que no se deteriora por la luz o el calor moderado. Muchas muestras que contienen dicho pigmento, con una antigüedad superior a los 2000 años, como las que se exponen en el trabajo, permanecen invariables a lo largo del tiempo, no viéndose afectado el mismo por el transcurso del tiempo.

La determinación del pigmento fue realizada empleando análisis elemental por energías dispersivas de rayos X. Los espectros puntuales realizados en los estratos de color azul de algunas de las muestras (Tabla 1) muestran la presencia de silicio, calcio, cobre, carbono y oxígeno (Figura 3b). Los espectro de

infrarrojos de los mismos estratos muestran la presencia de bandas de silicatos (1080 cm^{-1}, 1015 cm^{-1}, 735 cm^{-1}) y carbonatos (1448 cm^{-1}, 873 cm^{-1}) (Fig. 4b), estas últimas correspondientes al carbonato de calcio, componente que se encuentra en todos los estratos de la muestras por tratarse de pinturas realizadas, salvo en zonas muy puntuales, al *buono fresco* (Durán, 2006; Mora y Phillipot, 1984).

Muestra	1ª policromía	2ª policromía
1 Herculano 6	tierra roja, hematites	
2 Herculano 7	tierra roja	azul pompeyano
3 Herculano 8	tierra roja	azul pompeyano
4 Pompeya 15	azul pompeyano	hematites, tierra roja
5 Pompeya 19	Negro de huesos	cinabrio
6 Pompeya 21	hematites	tierra verde, azul pompeyano
7 Pompeya 22	carbón vegetal	carbón vegetal, azul pompeyano, hematites, tierra verde
8 Pompeya 18	cinabrio	tierra verde
9 Pompeya 14	hematites	tierra roja, hematites, azul pompeyano
10 Pompeya 16	Azul pompeyano, tierra roja	

Tabla 1. Pigmentos encontrados en las diferentes policromías (originales —1ª policromía—; y repintes —2ª policromía—) pertenecientes a la Villa dei Paperi (Herculano) y el Jardín de la Casa del Bracciale d'Oro (Pompeya).

Tanto en el grupo de muestras procedentes de Villa di Papieri como en aquellas de la Casa del Bracciale d'Oro destaca la presencia de dos capas polícromas en la mayoría de ellas (Figura 5). En todos los casos, se observa una capa interna preparatoria a base principalmente de carbonato cálcico ($CaCO_3$) al que siguen las capas polícromas. Los pigmentos hallados en esta segunda capa de color (Tabla 1) son similares a los encontrados en la capa original y su estado de conservación es similar al observado en las mismas, por lo que la realización de esta segunda policromía debe datarse en fechas muy cercanas a las originales.

III.3. Estudio de aglutinantes y de la técnica empleada

En cuanto a la técnica empleada por el autor, todo parece indicar que la técnica empleada en las muestras estudiadas es la del *buono fresco* en fondos monocromos y una segunda técnica *a secco* en zonas ornamentales y figuradas. En estas zonas, se extrajo el aglutinante por medio de disolventes polares (agua y alcohol en proporción 1:1) y se determinó el mismo mediante espectroscopia de infrarrojos.

El espectro obtenido muestra las bandas características de grupos amido (C=O) (1676 cm^{-1} y 1649 cm^{-1}) y aminos (N-H) (1567 cm^{-1} y 1544 cm^{-1}) (Durán, 2006; Mills y White, 1994), componentes de compuestos proteínicos como la cola animal, la caseína o la clara de huevo (Figura 4c).

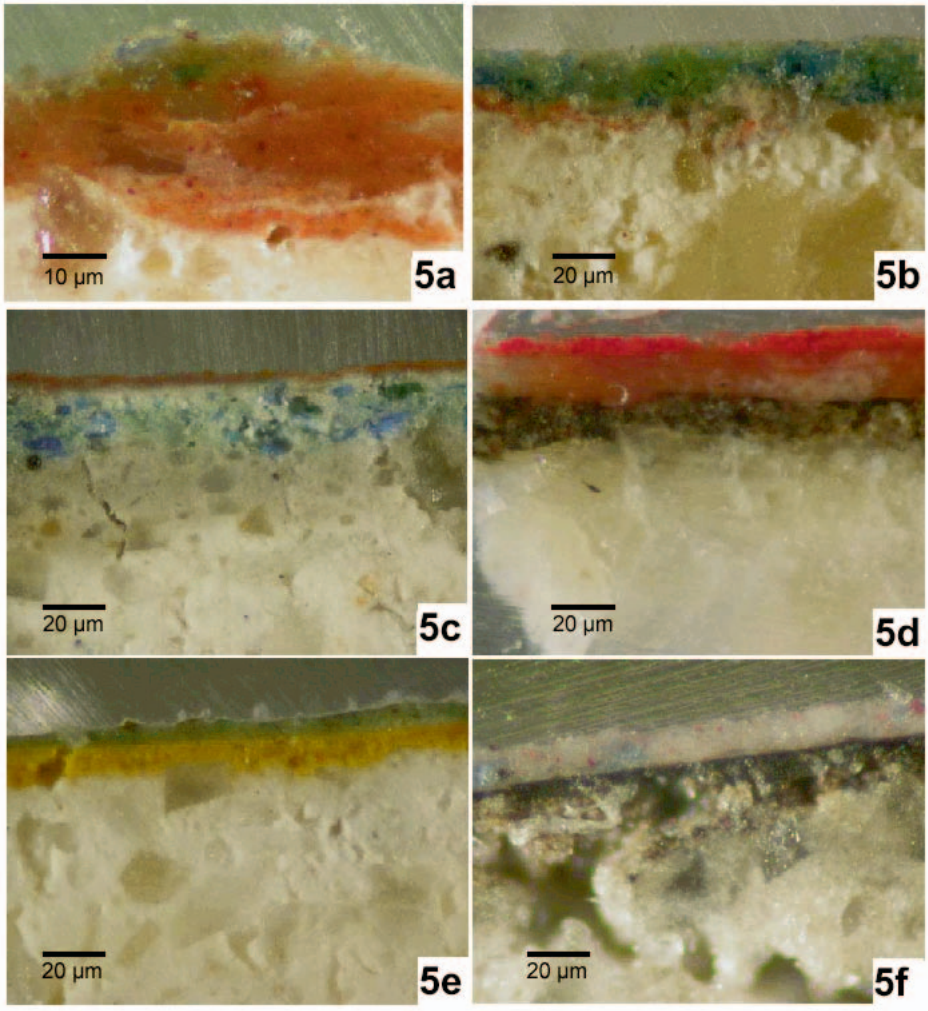


Figura 5. Microfotografías con microscopia óptica de las estratigrafías de las muestras: (a) muestra 2 (2 Herculano 7); (b) muestra 3 (3 Herculano 8); (c) muestra 4 (4 Pompeya 15); (d) muestra 5 (5 Pompeya 19); (e) muestra 6 (6 Pompeya 21); (f) muestra 7 (7 Pompeya 22).

IV. CONCLUSIONES

Los nuevos métodos de análisis y los avances científicos nos han ayudado al esclarecimiento de algunas de las claves del procedimiento parietal romano.

Nuestro campo de estudio se ha centrado en muestras procedentes de Pompeya y Herculano, dada la poca calidad de las pinturas que se encuentran en la Hispania romana. Se ha detectado la presencia de pigmentos como hematites, azul pompeyano, bermellón, tierra roja, negro de huesos, carbón vegetal y tierra verde. Destaca la presencia de dos capas polícromas tanto en las muestras del Jardín de la Casa del Bracciale d'Oro como en las procedentes de la Villa dei Papiri (Herculano).

La capa superficial del mortero sólo muestra la presencia de calcita, se trata por lo tanto de una técnica muy depurada.

La técnica pictórica empleada en las muestras es la del *buon fresco* en los fondos monocromos y una segunda técnica *a secco* en zonas ornamentales y figuradas, en la que se han detectado compuestos de tipo proteínico.

BIBLIOGRAFIA

DELAMARE, F.; DARQUE-CERETTI, E.; DIETRICH, J.; GAY, M. y MONGET, J. 1982: "Etude physico-chimique des couches picturales des peintures murales romaines de l'Acropole de Léro". *Revue d'Archeometrie* 6: 71-86.

DOMENECH-CARBO, M.; BOSCH-REIG, F.; GIMENO-ADELANTADO, J. y PERIZ-MARTINEZ, V. 1996: "Fourier transform infrared spectroscopy and the analytical study of woks of art for purposes of diagnosis and conservation". *Anal. Chim. Acta* 330: 207-215.

DURAN, A. 2006: *Metodología de estudio y análisis de diferentes tipos de obras de arte pertenecientes a la escuela sevillana de los siglos XVII y XVIII.* Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

EDREIRA, M.C.; FELIU, M.J.; FERNÁNDEZ-LORENZO, C. y MARTIN, J. 2001: "Roman wall paintings characterisation from Cripta del Museo and Alcazaba in Mérida (Spain): chromatic, energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy, X-ray diffraction and Fourier transform infrared spectroscopic analysis". *Anal. Chim. Acta* 434: 331-345.

FRIZOT, M. 1982: "L'analyse des pigments de peintures murales antiques. Etat de la question et bibliographie". *Revue d'Archeometrie* 6: 47-59.

GETTENS, R.J. y STOUT, G.L. 1966: *Painting Materials, a short encyclopaedia.* Dover Publications.

HERRERA, L.K.; DURAN, A.; JIMENEZ DE HARO, M.C.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, J.L. y JUSTO, A. 2007: "Study of Baroque artworks by non-destructive techniques". *Coalition* 14: 10-14.

KHANDEKAR, N. 2003: "Preparation of cross-sections from easel paintings". *Reviews in Conservation* 4: 52-64.

LAURIE, A.P.; McLINTOCK, W.F. y MILES, F.D. 1914: "Egyptian blue". *Procceedings of the Royal Society of London,* Series A: 418-429.

MILLS, J. y WHITE, R. 1994: *The organic chemistry of museum objects, 2nd edic.* London. Butterworth-Heinemann.

MORA, L. y PHILLIPOT, P. 1984: *Conservation of wall paintings.* Butterwords-Focall Press. London.

ZANELLA, E.; GURIOLI, L.; CHIRARI, G.; CIARALLO, A.; CIONI, R.; De CARIOLIS, E. y LANZA, R. 2000: "Archaeomagnetic results from mural paintings and pyroclastic rocks in Pompeii and Herculaneum". *Physiscs of the Earth and Planetary Interiors* 118: 227-240.

CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE PIGMENTOS DECORATIVOS DE ÉPOCAS ROMANA, ISLÁMICA Y MODERNA DE EXCAVACIONES ARQUEOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE SEVILLA MEDIANTE TÉCNICAS ARQUEOMÉTRICAS

CHEMICAL AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF ROMAN, ISLAMIC AND MODERN DECORATIVE PIGMENTS FROM ARCHAEOLOGICAL DIGS IN SEVILLA USING ARCHAEOMETRIC TECHNIQUES

M.A. HUNT ORTIZ[1], A. GÓMEZ MORÓN[2], M. Á. ONTALBA SALAMANCA[3], B. GÓMEZ TUBÍO[4], I. ORTEGA FELIU[5], D. GARCÍA RIVERO[1], J. VÁZQUEZ PAZ[1]

(1) Dpto. Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla. C/ Maria de Padilla s/n. 41004 Sevilla.
(2) Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Junta de Andalucía.
(3) Dpto. Física Aplicada, Universidad de Extremadura.
(4) Dpto. Física Aplicada III, Universidad de Sevilla.
(5) Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla.

RESUMEN

Se presentan los resultados de la investigación arqueométrica sobre la composición y estructura de pigmentos decorativos de épocas Romana, Islámica y Moderna procedentes de dos intervenciones arqueológicas llevadas a cabo en las Calles San Fernando y Pureza de la ciudad de Sevilla (España). Las muestras, recogidas de contextos arqueológicos bien definidos, han sido analizadas mediante distintas técnicas analíticas (microscopía de luz reflejada, DRX, MEB, microPIXE) con el objetivo de caracterizarlas y establecer la comparación diacrónica en cuanto a la composición de los morteros y pigmentos empleados.

ABSTRACT

The results of the archaeometric research carried out on the composition and structure of decorative pigments from Roman, Islamic and Modern periods from two archaeological digs, San Fernando and Pureza Streets, in the town of Sevilla (Spain,) are presented. The samples, collected from well-defined archaeological contexts, have been analysed by different archaeometric methods (reflected light microscopy, XRD, SEM, microPIXE) with the objective of their characterization and the establishment of a diachronic comparative of the composition of the mortars and pigments used.

Palabras clave: Morteros, Pigmentos, Microscopía, FRX, DRX, MEB, MicroPIXE, Arqueológico, Romano, Islámico, Moderno, Sevilla, España.

Key words: *Mortars, Pigments, Microscopy, XRF, XRD, SEM, MicroPIXE, Archaeology, Roman, Islamic, Modern, Sevilla, Spain.*

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio de caracterización arqueométrica de pigmentos decorativos tiene un carácter diacrónico, englobando tres etapas cronológicas bien diferenciadas: Romana, Islámica (medieval) y Moderna. Dada la frecuente documentación de restos de estucos en niveles arqueológicos alterados, especialmente en ámbitos urbanos, se pretende la caracterización de muestras bien contextualizadas en los distintos periodos tratados de forma que se puedan aplicar datos arqueométricos con valor cronológico en el estudio de muestras descontextualizadas de pigmentos. Las muestras estudiadas proceden de excavaciones de carácter preventivo realizadas en el año 2004 en dos zonas de la ciudad de Sevilla: la Calle San Fernando y la Calle Pureza (Fig. 1). Se obtuvieron en total 21 muestras, de las que 8 correspondían a época Romana, 10 a época Medieval Islámica y 3 a época Moderna.

II. CONTEXTO ARQUEOLÓGICO DE LAS MUESTRAS

En la Calle San Fernando se llevó a cabo la intervención arqueológica denominada "Estación Puerta de Jerez", motivada por el proyecto de construcción, que no se llegó a ejecutar, de la estación de ese nombre de la Línea 1 del Metro de Sevilla (Pozo *et al.,* 2006). La excavación, con sigla SF 04/17, se centró en la parte Sur de mitad Oeste de la calle, alcanzando una profundidad de 3.6 metros y documentando una secuencia estratigráfica, formada por unidades construidas y deposicionales, que se desarrollaba desde el siglo XX d.C. al siglo I d.C.

Todas las muestras de época romana, fechadas en los siglos I-II d.C., proceden de esta excavación y corresponden a los restos de la decoración parietal, policroma, (muestras M3 a M10) de una construcción de carácter doméstico (villa periurbana) con peristilo central columnado.

De época islámica se recogieron restos de decoración parietal bícroma de lacería y monocroma de suelos (M11, M12, M13, M15 y M16) de un complejo habitacional fechado en el siglo XI d.C., destruido por las obras de ejecución de la muralla islámica.

Las muestras de época Moderna (M1 y M2) de la excavación de la Calle San Fernando se recuperaron de restos de estructuras edilicias del siglo XVII d.C., una de ellas de carácter hidráulico, localizadas al exterior del sistema defensivo islámico.

Figura 1. Detalles de las intervenciones arqueológicas en las Calles San Fernando (A) y Pureza (B).

Por otra parte, la excavación en la Calle Pureza, nº 2 (sigla ROD 04/33) situada en el barrio de Triana, en la margen derecha del río Guadalquivir y muy próxima al Castillo de San Jorge, permitió la documentación de una secuencia estratigráfica compleja que se extiende desde el siglo XX d.C. al periodo Almohade (transición siglos XII-XIII d.C.) (García Rivero y Taylor, e.p.). Todas las muestras recogidas de esta intervención, monocromas —blancas o rojas—, proceden de estructuras construidas.

De la excavación de la Calle Pureza, las muestras de época islámica se extrajeron de estructuras de habitación de la denominada Fase I, datadas en los inicios del siglo XIII a.C. Esas muestras corresponden a suelos rojos (M17, M18 y M20) y blancos (M21) y a recubrimientos parietales blancos (M19).

Finalmente, de niveles constructivos de esta excavación datados en los siglos XVII-XVIII d.C., se obtuvo una muestra (M22) de suelo pigmentado en rojo.

III. MUESTRAS ANALIZADAS Y OBJETIVOS

En el presente trabajo se han seleccionado muestras correspondientes a tres épocas distintas: romana, islámica y moderna, con el objetivo de establecer una comparación en cuanto a la técnica pictórica y composición de los morteros y pigmentos empleados.

ROMANAS (S. I-II d.C.)			
Muestra		**Referencia de la excavación**	**Pigmentación**
M3		(SF 04/17) C-8; U.E.-879	Rojo
M4		(SF 04/17) C-8; U.E.-871	Rojo
M5		(SF 04/17) C-8; U.E.-879	Blanco
M6	M6A	(SF 04/17) C-8; U.E.-858	Amarillo
	M6R		Rojo
	M6V		Verde
M7	M7R	(SF 04/17) C-8; U.E.-871	Rojo
	M7V		Verde
	M7AR		Azul sobre rojo
	M7VE		Verde-azulado
	M7VBR		Verde-blanco sobre rojo
	M7NR		Negro sobre rojo
	M7A		Azul
	M7BR		Blanco sobre rojo
M8		(SF 04/17) C-12; U.E.-1230	Blanco
M9		(SF 04/17) C-12; U.E.-1235	Amarillo
M10		(SF 04/17) C-12; U.E.-1239	Rojo
ISLÁMICAS (S. XI-XIII d.C.)			
M11		(SF 04/17)C-13; U.E.- 1530/1560	Rojo
M12		(SF 04/17) C-13; U.E.-1537	Blanco
M13		(SF 04/17) C-13; U.E.-1538	Blanco
M15		(SF 04/17) C-13; U.E.-1544	Blanco
M16		(SF 04/17) C-13; U.E.-1539	Rojo
M17		ROD 04/33.C-1; U.E.-78	Rojo
M18		ROD 04/33.C-2; U.E.-292	Rojo
M19		ROD 04/33.C-2; U.E.-294	Blanco
M20		ROD 04/33.C-2; U.E.-295	Rojo
M21		ROD 04/33.C-2; U.E.-276B	Blanco
MODERNAS (S. XVII-XVIII d.C.)			
M1		(SF 04/17) Exterior Barbacana	Blanco
M2		(SF 04/17) Exterior Barbacana	Blanco (estuco hidráulico)
M22		ROD 04/33.C-1; U.E.-20	Rojo

Tabla 1. Nomenclatura y descripción de las muestras analizadas.

Se disponía de fragmentos de las distintas muestras que, para una fácil manipulación, fueron embutidas en una resina de polimerización en frío, dispuestas de manera que su pulido dejase expuesta su sección transversal para el estudio de la estructura de capas (estratigrafía).

Algunas de las muestras de pintura mural eran policromas, por lo que se decidió extraer a su vez fragmentos que contuvieran cada uno de los colores representados en cada muestra. En la Tabla 1 se relacionan las 30 muestras finales resultantes de los 21 fragmentos de pintura mural original analizados. La nomenclatura consta de la letra M seguida de su número identificativo correspondiente; en el caso de las muestras policromas subdivididas se añade una letra indicativa del color.

IV. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Los cortes estratigráficos de la pintura mural permiten la caracterización textural y morfológica de las distintas capas superpuestas que la componen (preparación y pigmentos) mediante su estudio al microscopio de luz reflejada. La información sobre microestructuras y su composición se obtuvo a través de un miscroscopio electrónico de barrido (MEB) JEOL JSM-5600LV con un sistema de microanálisis de energía dispersivas de rayos X marca OXFORD modelo INCA. Además, a través de la técnica micro-PIXE en cámara de vacío, aplicada a través de protones con una energía de 3 MeV procedentes de un acelerador de partículas tipo Pelletron de 3 MV (García López *et al.,* 2000), se adquirieron mapas elementales de secciones transversales con un área de 200x200 μm^2 pudiendo observar la estructura de capas y determinando la composición elemental de las mismas.

Por otra parte, se realizaron análisis mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX) en un equipo Bruker D8-Advance de algunas muestras molidas con objeto de identificar los compuestos mineralógicos presentes en los morteros y en las capas pictóricas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología aplicada ha permitido caracterizar las distintas capas que componen la pintura mural[1], desde los enlucidos hasta la capa pictórica, exponiéndose los resultados desde la más interna hasta la más externa para cada una de las épocas (Mora *et al.,* 1984).

a. Capas preparatorias

El estudio de las preparaciones estratigráficas mediante microscópica óptica, MEB y micro-PIXE ha permitido identificar el número, espesor y morfología de las capas preparatorias y pictóricas aplicadas en las pinturas murales.

Las muestras de **época romana** presentan una primera capa de mortero de granulometría gruesa aplicado para igualar el sustrato mural (Baraldi *et al.,* 2006). El espesor medido en esta primera capa oscila entre 2 y 5 mm dependiendo de la muestra (Fig 2a). Las fases mineralógicas identificadas por difracción de rayos X han sido cuarzo y calcita como componentes mayoritarios, y en menor proporción dolomita, moscovita y feldespatos (Fig. 3a).

Sobre esta primera capa se superponen entre dos y tres enlucidos de granulometría fina. El espesor de estos enlucidos es bastante uniforme en cada capa, variando en el conjunto de muestras entre 240 y 400 µm. La composición mineralógica del enlucido es de calcita como elemento mayoritario y en menor can-

1. ROMÁN SÁNCHEZ, C. 2005: *Estudio de los agentes de deterioro que afectan a la conservación de la pintura mural. Una metodología para la evaluación de su estado de conservación.* Universidad de Sevilla. Tesis Doctoral. Inédita.

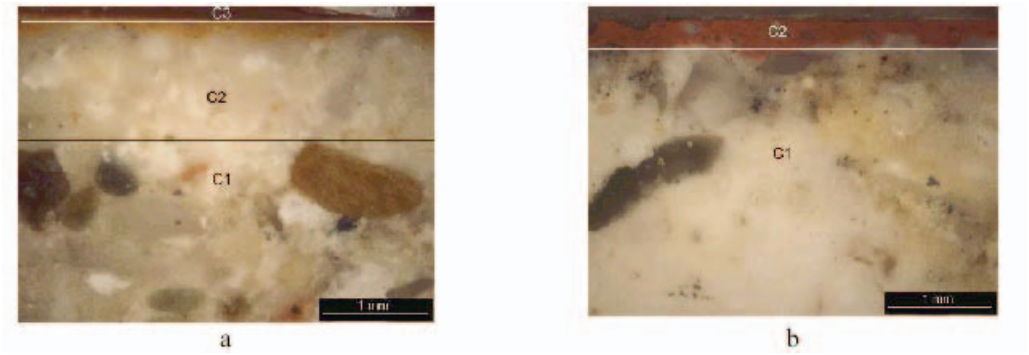


Figura 2. Imagen del microscopio óptico de las capas de preparación, a) muestra romana (M4) y b) islámica (M11).

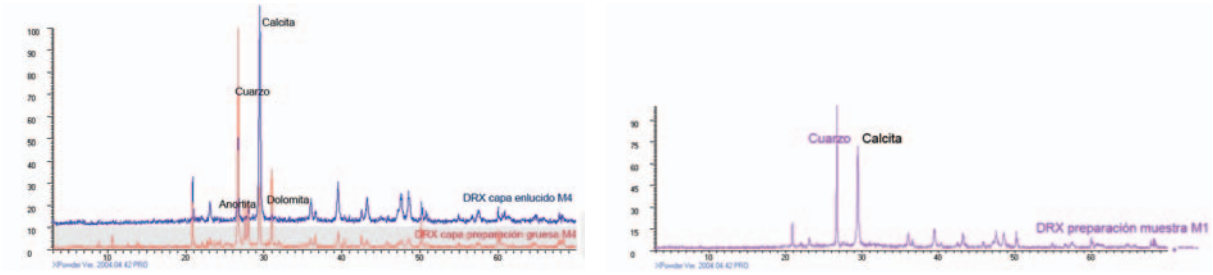


Figura 3. Diagramas de DRX de la capa de preparación, a) DRX de la capa de preparación con granos gruesos (rojo) y de la capa de enlucido de granulometría fina (azul) de la muestra romana M4 y b) DRX de la capa de preparación con granos gruesos de la muestra islámica M11.

tidad cuarzo y feldespatos (arena) (Fig. 3a y Fig. 4). La presencia en cantidades elevadas de carbonato cálcico ($CaCO_3$, calcita) en estas capas preparatorias se explica por el empleo de cal apagada (hidróxido cálcico $Ca(OH)_2$) como materia prima, que sufre un proceso de carbonatación al reaccionar con el CO_2 atmosférico (Pino Díaz, 2004). Otra parte de la calcita presente en estas capas se debe a la adición de granos de $CaCO_3$ como árido. El análisis químico elemental con la microsonda de energía dispersiva de rayos X corrobora los resultados anteriores, ya que identifica en todas las capas preparatorias elementos como el silicio, aluminio, magnesio, hierro y potasio, característicos de las arcillas.

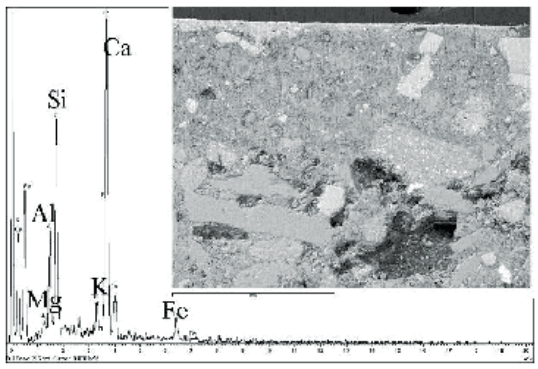


Figura 4. Espectro EDX correspondiente a la preparación de la muestra M4 de época romana.

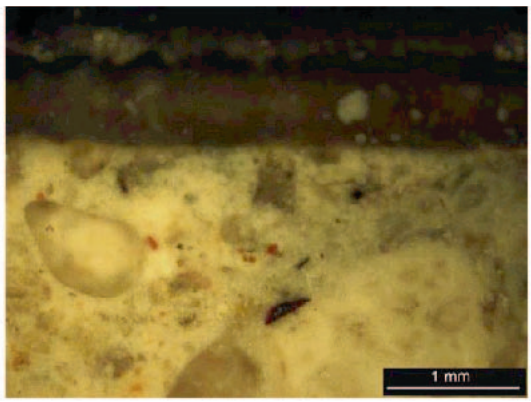


Figura 5. Imagen del microscopio óptico de la muestra de época moderna M2.

En **época islámica y moderna** (Fernández López, 2001) también se distingue una primera aplicación con un mortero de granulometría gruesa compuesto por cuarzo como fase mayoritaria, calcita abundante y como fase minoritaria caolinita, solo detectada por EDX (Fig. 3b). El espesor varía según la muestra entre

3 y 4 mm (Fig. 2b), con excepción de los suelos (muestras M15, M18 y M22) cuyos espesores oscilan entre 5 y 7 mm. En la mayoría de las muestras la capa pictórica se aplica directamente sobre el mortero de granulometría gruesa, o como máximo se aplica sobre una sutil capa de enlucido de granulometría fina, lo cual contrasta frente al elevado número de capas de enlucido aplicados en las muestras romanas. En algunas muestras islámicas se han detectado fibras vegetales que fueron añadidas junto con la arena como desgrasante (Medina Flórez *et al.,* 2002) (Fig. 8).

Las diferencias entre las muestras islámicas y modernas con respecto a las muestras romanas son evidentes, tanto desde el punto de vista técnico, con un menor número de capas de enlucido en estas épocas, como desde el punto de vista composicional, donde destaca la ausencia de minerales de la arcilla en las capas preparatorias, a excepción de la caolinita, que aparece sólo en estas dos épocas y en cantidades muy bajas.

La muestra M2 correspondiente a un estuco hidráulico de época moderna presenta una textura y composición mineralógica distinta al resto. Contiene elevadas cantidades de aluminosilicatos en el mortero, lo que le confiere una mayor estabilidad en el agua y la granulometría del árido es bastante fina en comparación con el resto de muestras, siendo por otro lado característico de este tipo de estucos (Fig. 5).

b. Capas pictóricas

Las técnicas de microanálisis, tanto en el MEB como el micro-PIXE, permitieron el análisis individualizado de las capas pictóricas. Además se han empleado las técnicas de análisis de microscopía óptica y DRX para la caracterización textural, morfológica y composición mineralógica.

Los resultados se exponen atendiendo al color de la capa pictórica. Solo se podrá establecer una comparación de los pigmentos empleados en las tres épocas para los colores rojo y blanco, los únicos pigmentos con muestras de todas las épocas.

b.1. Blanco. En todas las épocas se identifica una composición mineralógica muy similar a la de los enlucidos, aunque con un tamaño de grano menor, lo que a veces provoca que resulte difícil detectar la separación entre capa pictórica y mortero (Fig. 6). Presenta granulometría muy fina y espesores que oscilan entre 20 y 40 µm dependiendo de la muestra. Están compuestas por calcita como elemento mayoritario y en cantidades ligeramente inferior aparece cuarzo.

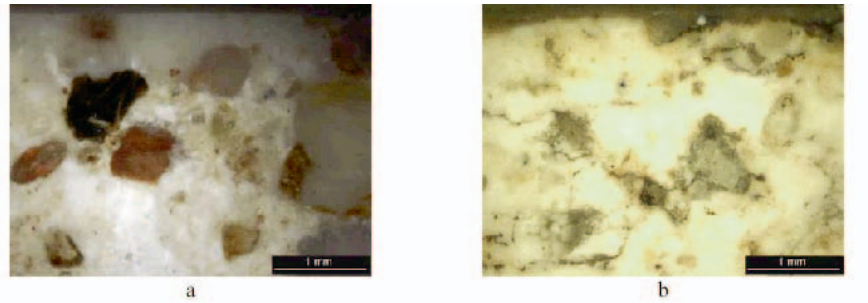


Figura 6. Imagen del microscopio óptico a) muestra romana (M5) y b) islámica (M13).

La única diferencia detectada ha aparecido en las muestras de épocas islámica y moderna, donde se identifican algunos granos de caolinita dispersos por la capa pictórica, junto con la calcita y el cuarzo. En los mapas elementales de Ca, Si y Al adquiridos mediante microPIXE para una muestra romana y otra islámica (Fig. 7) se observa que la zona marcada se corresponde con el pigmento blanco, caracterizado por la presencia de calcita en todas las épocas; en la muestra islámica se observa un aumento de Si y Al debido a la presencia de caolinita, mineral también empleado durante la época moderna.

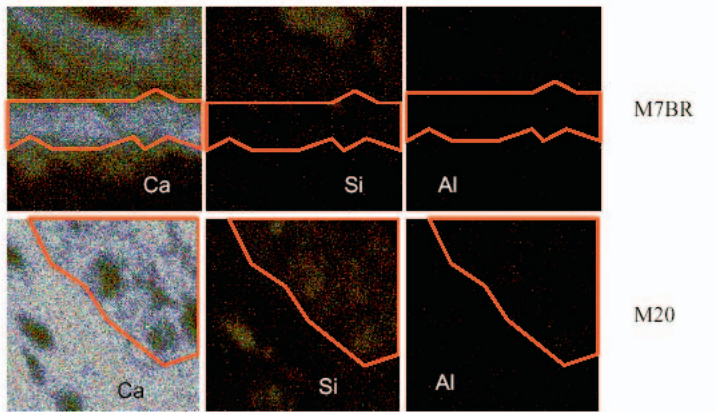


Figura 7. Mapas elementales obtenidos mediante microPIXE de una muestra romana (M7BR) y otra islámica (M20) en el estudio del color blanco.

La muestra M2, como ya se comentó en el apartado de capas preparatorias, presenta también en su capa pictórica una composición mineralógica distinta a las demás muestras, con elevadas cantidades de aluminosilicatos. Este compuesto típico de estucos hidráulicos se encuentra acompañado de calcita como elemento mayoritario en la capa pictórica.

b.2. Rojo. Este color, junto con el blanco, se encuentra en todas las épocas estudiadas. El espesor de la capa pictórica para las muestras romanas de color rojo oscila entre 20 y 40 µm (Fig. 8a), mientras que los espesores alcanzados en épocas islámica y moderna varían entre 60 y 140µm (Fig. 8b). Estos espesores tan elevados se deberían a que la capa pictórica se aplica casi directamente sobre morteros de granulometría gruesa, mientras que las muestras romanas tienen un mayor número de capas de enlucido.

En todas las épocas la capa roja se caracteriza por la presencia común de aluminio, silicio y hierro, como se puede comprobar en el espectro EDX de la capa pictórica de la muestra M4 (romana) (Fig. 9a) y en los mapas PIXE de Fe y Ca en muestras de las diferentes épocas (Fig. 9b). Estos resultados han sido corroborados por DRX, donde se evidencia que el color se consigue con una mezcla de hematite con "tierras rojas".

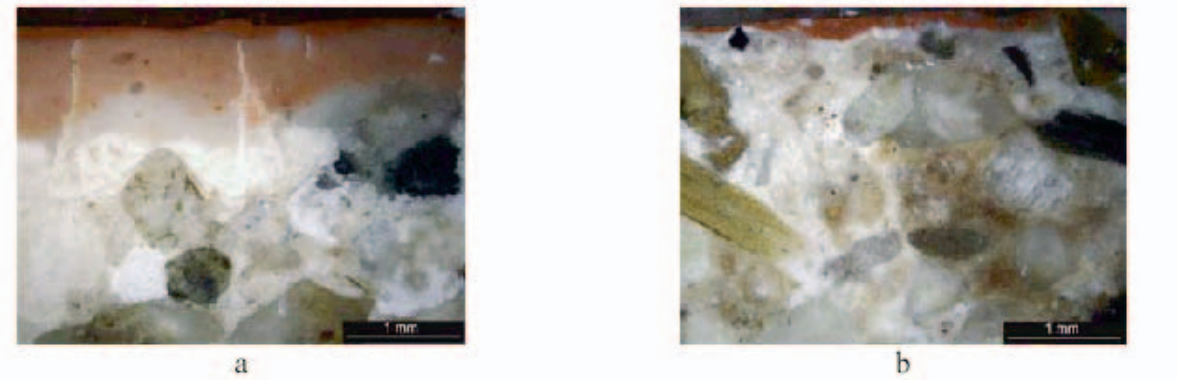


Figura 8. Imagen del microscopio óptico a) muestra romana (M3) y b) islámica (M22).

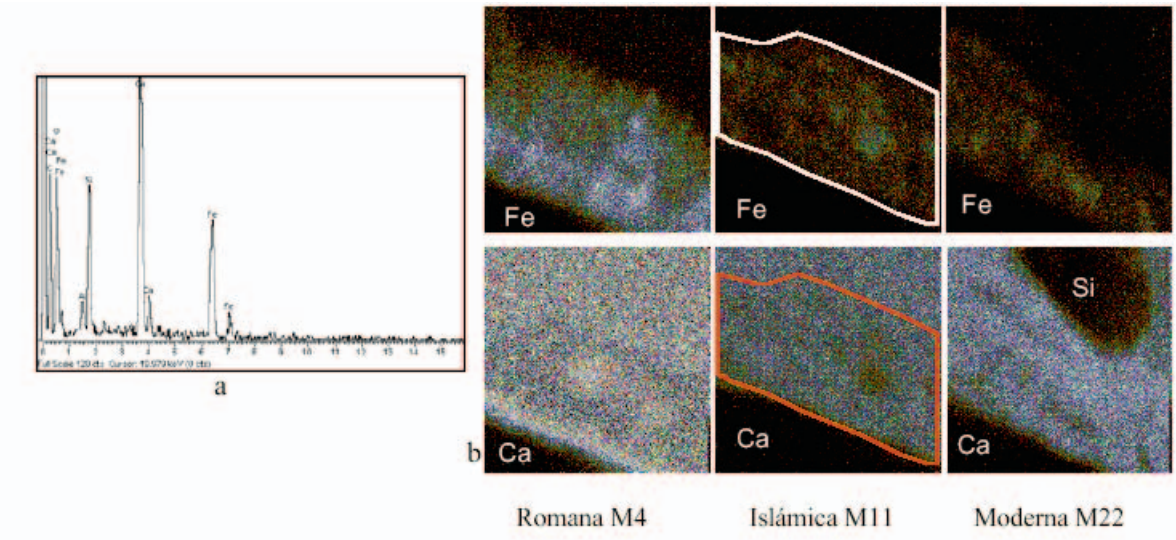


Figura 9. a) Espectro de SEM-EDAX de la muestra romana, se observan los elementos que caracterizan al pigmento rojo. b) Mapas de Ca y Fe de muestras de las tres épocas.

b.3. Negro. Aparece únicamente en una muestra romana y se encuentra dispuesto sobre otra capa de pigmento rojo (Fig. 10). El espesor medido ha sido de 350 µm, bastante elevado si se compara con el resto de las capas pictóricas de esta época. Los análisis EDX y PIXE revelan la existencia de P, Ca y Mn, entre otros elementos, de lo que se deduce que la tonalidad se ha conseguido mediante una mezcla de "negro de hueso", es decir, fosfato cálcico procedente de huesos calcinados junto con "tierras de sombra" (óxido de manganeso) (Figs. 11-12).

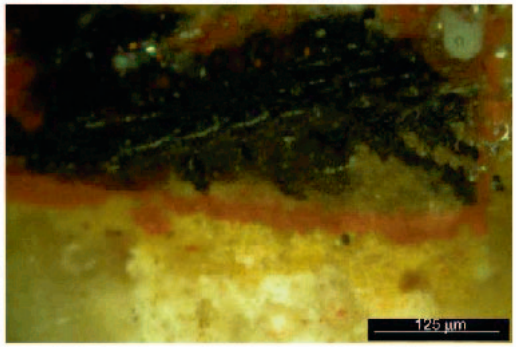


Figura 10. Imagen del microscopio óptico de la muestra de época romana M7NR.

Figura 11. Mapas de Mn y Fe de la muestra M7NR.

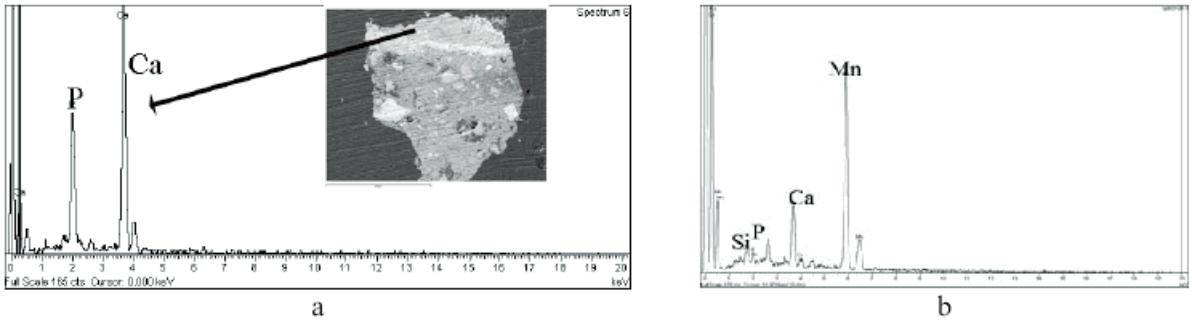


Figura12. a) Espectro EDX correspondiente al pigmento "negro de hueso" de la muestra M7NR de época romana b) Espectro EDX correspondiente al pigmento "tierra de sombras" de la muestra M7NR de época romana

b.4. Azul. Varias muestras romanas presentan este color, que en el caso de la M7AR (Fig. 13a) se dispone sobre una capa de color rojo. Los espesores medidos en las capas de este color oscilan entre 100 y 120 µm.

El pigmento se identifica mediante el análisis de DRX como azul egipcio ($CaCuSi_4O_{10}$), acompañado de calcita y cuarzo como mayoritarios (Fig. 13a). Estos resultados quedan confirmados con los análisis EDX y PIXE (Fig. 14b), donde aparecen los elementos químicos característicos de este pigmento: cobre, silicio y calcio.

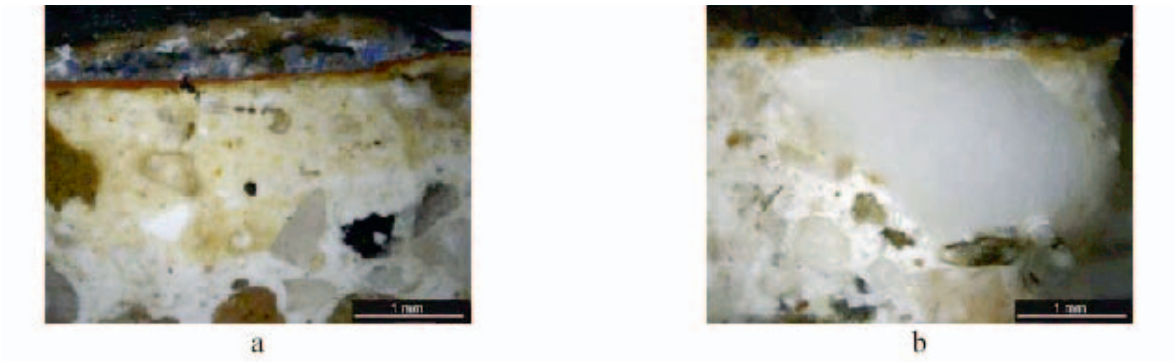


Figura 13. Imagen del microscopio óptico de muestras romanas a) muestra M7AR y b) muestra M7A.

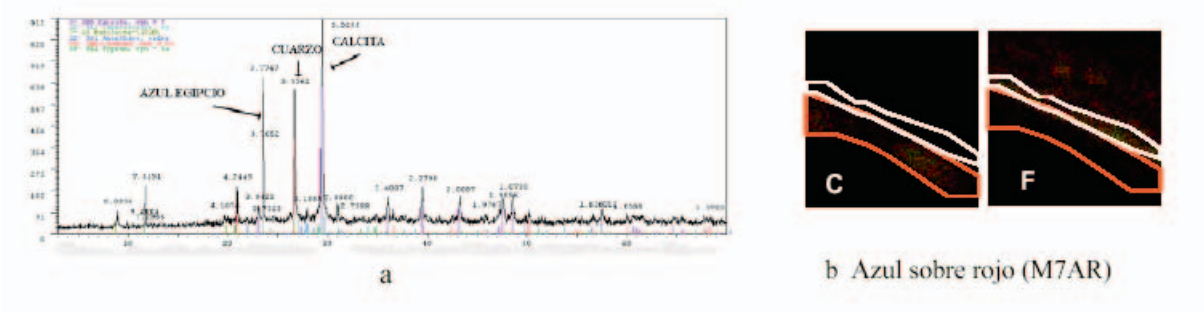


Figura 14. a) Espectro de DRX del pigmento azul, b) mapas elementales PIXE.

b.5. Verde. Se han analizado un total de cuatro muestras en las que aparece esta tonalidad (Fig. 15). Los espesores medidos oscilan entre 20 y 40 µm. Los espectros de rayos X muestran la presencia de Al, Mg, K y Fe, debido al empleo de "tierras verdes" como pigmento (Figs. 16 y 17).

b.6. Amarillo. Se han analizado dos muestras de color amarillo, en las que los espesores de la capa pictórica oscila entre 80 y 120 µm (Fig. 18). De los espectros de EDAX y los mapas de micro-PIXE se puede indicar que en este caso se ha realizado una mezcla entre el pigmento ocre (presencia de Fe) y "negro de hueso", que aparecen acompañados por grandes cantidades de calcita.

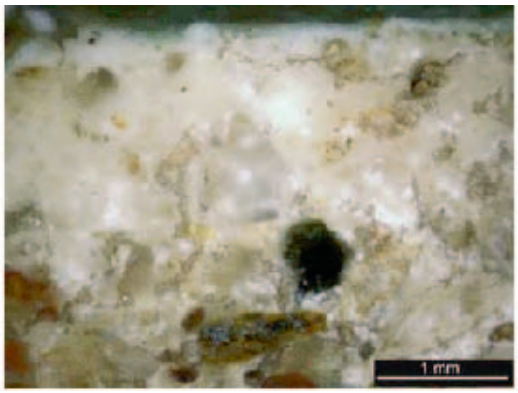


Figura 15. Imagen del microscopio óptico de la muestra de época romana M6V.

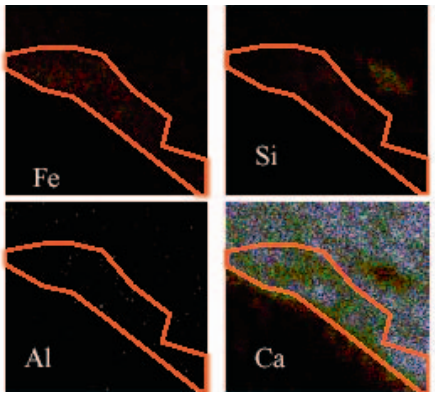


Figura 16. Mapas elementales PIXE muestra M6V.

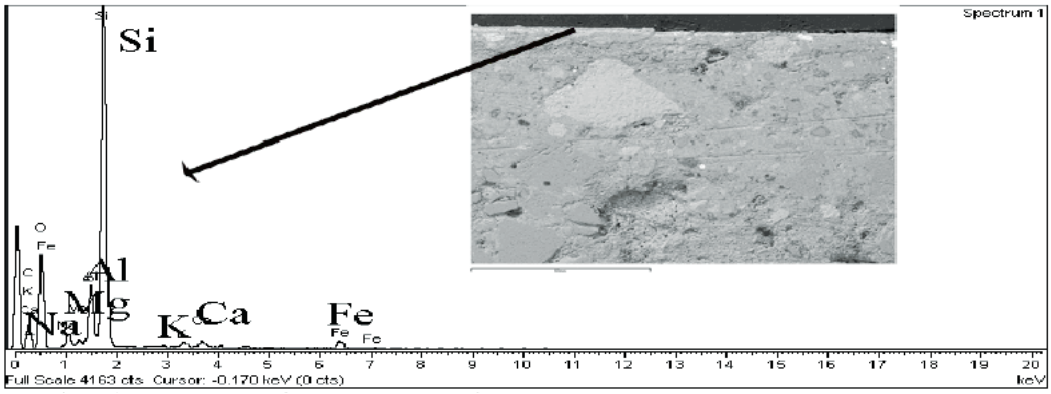


Figura 17. Espectro EDX de muestra romana M6V.

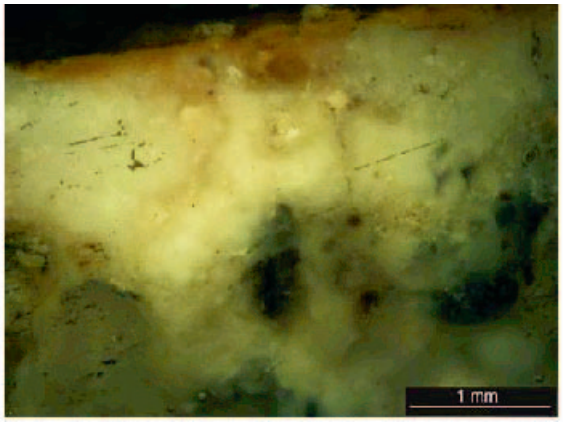


Figura 18. Imagen del microscopio óptico de la muestra de época romana M9A.

VI. CONCLUSIONES

La limitación del muestreo analizado hace que los resultados no se deban considerar como concluyentes, siendo necesaria la ampliación de la muestra representativa de las distintas épocas consideradas para obtener valoraciones de carácter diacrónico más definitivas. En función de los resultados obtenidos en este estudio concreto, se puede establecer las siguientes conclusiones generales:

En cuanto **a las capas preparatorias:**

- Se observa que, en general, las estratigrafías de muestras de época romana tienen un mayor número de superposición de capas, con una esmerada selección de la arena en la preparación del soporte. Las primeras capas contienen cal y arena gruesa, las siguientes cal y arena fina y por último las que reciben los pigmentos junto a la cal. Destaca la presencia de arcilla en pequeñas cantidades en las muestras de este periodo.
- Las estratigrafías de las muestras islámicas y modernas reducen el número de capas preparatorias, así como la granulometría de la arena empleada es más fina. En su composición mineralógica no se detecta la mezcla de arcillas identificadas en las romanas, aunque si una pequeña cantidad de granos de caolinita. La muestra M2, procedente de una alberca moderna, contiene abundantes aluminosilicatos, típicos de las cales hidráulicas.

Por otra parte, **las capas pictóricas:**

- En relación con los pigmentos no se observa gran variedad ni tampoco grandes cambios a lo largo del tiempo. Esto debe estar en relación también a las grandes limitaciones que para la técnica supone la elección de pigmentos resistentes a los álcalis, además de a la luz y a los agentes atmosféricos.
- Los colores que aparecen en todas las épocas son los rojos y los blancos. Los rojos emplean pigmentos como el hematite y tierras rojas y los blancos se consiguen con la propia cal (carbonatada da lugar a la calcita). En época islámica y moderna se detecta además caolinita.
- El resto de colores se han analizado exclusivamente en época romana. En concreto, el color negro se consigue con “negro de hueso” y “tierra de sombras”, el color verde con “tierras verdes”, el amarillo con mezcla de pigmento rojo y “negro de hueso” y el azul con el pigmento sintético denominado “azul egipcio”.

BIBLIOGRAFÍA

BARALDI, P.; BONAZZI, A.; GIORDANI, N.; PACCAGNELLA, F. y ZANNINI, P. 2006: “Analytical characterization of Roman plasters of the ‘ Domus Farini’ in Modena”. *Archaeometry,* Vol 48, 3: 481-499.

FERNÁNDEZ LÓPEZ, J. 2001: “Pintura mural en el siglo XVII sevillano” PH: *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico,* Vol 34: 219-225. Sevilla.

GARCÍA LÓPEZ, J.; AGER, F.J.; BARBADILLO RANK, M.; MADRIGAL, F.J.; ONTALBA, M.A.; RESPALDIZA, M.A. y YNSA, M.D. 2000: “CNA: The first accelerator-based IBA facility in Spain”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms,* Vol. 161-163: 1137-1142.

GARCÍA RIVERO, D. y TAYLOR, R. e.p.: "Nuevos datos para el conocimiento de la evolución histórica del arrabal de Triana en Sevilla (ss. XII-XX): *La intervención arqueológica en calle Pureza nº 2". Anuario Arqueológico de Andalucía,* 2004. Sevilla: Junta de Andalucía.

MEDINA FLÓREZ, V.J. y GARCÍA BUENO, A. 2002: “Metodología en la intervención de las pinturas de Qusayr’Ama, Jordania” PH: *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico,* Vol. 39: 60-68. Sevilla.

MORA, P.; MORA, L. y PHILIPPOT, P. 1984: *Conservation of Wall Paintings. Series in Conservation and Museology.* Londres.

PINO DÍAZ, C. 2004: *La pintura mural: Conservación y restauración.* CIE Dossat. Madrid.

POZO, F.; HUNT, M.A. y MERCADO, L. 2006: “Actuaciones arqueológicas en la Línea 1 de Metro de Sevilla”. En: *El Patrimonio Arqueológico y Paleontológico en las obras de ampliación del Metro de Madrid:* 205-215. Comunidad de Madrid.

EVOLUCIÓN QUÍMICA DE MATERIALES PICTÓRICOS: DEGRADACIÓN O CONSERVACIÓN

CHEMICAL EVOLUTION OF PAINTING MATERIALS: DEGRADATION OR CONSERVATION

M.J. FELIU, P. MARTINEZ-BRELL

Grupo de Investigación SCEM (FQM 166 J.A.). Dpto. Química Física. Universidad de Cádiz.
Campus universitario de Puerto Real (Cádiz). Facultad de Ciencias. 11510 Cádiz. mariajose.feliu@uca.es

RESUMEN

La formación del mineral whewellita (oxalato cálcico) en las pátinas de pinturas sobre materiales calcáreos ha suscitado investigaciones sobre su proceso de formación. Dado que este mineral es más insoluble que la calcita se considera como una protección de los materiales pictóricos y calcáreos. En este trabajo hemos tratado de localizar la whewellita en numerosas muestras de materiales pictóricos antiguos y considerar las diferentes condiciones de las dos muestras con resultados positivos respecto a las restantes que tienen resultados negativos.

ABSTRACT

The whewellite (calcium oxalate) mineral formation on patinas of paints over calcareous materials has instigated many investigations about its formation process. Usually, it is considered as a protection of pictorial and calcareous materials because this mineral is more insoluble than calcite. In this paper we have tried to localize whewellite in many antique pictorial material samples and to consider the different conditions of the two samples with positive results regarding to the other ones that have negative results.

Palabras clave: pigmentos, pinturas, whewellita, conservación, FTIR, SEM, EDS.

Key words: *pigments, paintings, whewellite, conservation, FTIR, SEM, EDS.*

I. INTRODUCCIÓN

La whewellita se considera un mineral de origen orgánico, en concreto el oxalato cálcico, cuyas propiedades (insolubilidad en agua, dureza) hacen que su presencia confiera al conjunto pictórico una estabilidad deseable para su conservación, aunque provoque un ligero oscurecimiento del color del soporte (debido a su color acaramelado). El proceso de formación requiere la presencia de los iones calcio y oxalato. Así, por ejemplo, en los procesos de metabolismo se produce ácido oxálico que, en presencia de iones calcio, genera cristales de whewellita.

Para el estudio de la formación de whewellita que aparece en las pátinas de pinturas murales y rupestres, una de las informaciones más importantes la proporciona el análisis de los materiales que contiene la capa superficial de la obra: Los utilizados para aglutinar pigmentos (agua de cal o yeso) y, de manera especial los materiales orgánicos, sobretodo las sustancias grasas que pudieran contener. Hay que tener presente que estos materiales orgánicos pueden haberse añadido a las sustancias aglutinantes ya citadas, o también pueden haberse utilizado como protección final de la decoración.

Los materiales orgánicos se degradan y no es fácil encontrarlos en muestras antiguas. Sin embargo, sí es posible detectar los productos de su degradación y tal parece ser el caso, según numerosas publicaciones, del mineral whewellita. Se ha localizado en la pátina de esculturas de mármol y en la pátina de piedras calcáreas, tanto en monumentos como en edificios históricos (Rampazzi, 2002, 2004; del Monte, 1987; Garcia-Vallés, 1996,1997). El origen de la pátina de whewellita es controvertido: algunos autores afirman que es de origen biológico (líquenes o bacterias), por secreción de ácido oxálico en medios donde abunden iones calcio (Carbonatos y sulfatos) (Garcia-Vallés, 1996,1997); y otros, apuntan la posibilidad de su formación a partir de la oxidación de un recubrimiento orgánico (aceites o grasas), protector de soportes calcáreos (Rampazzi, 2002, 2004; Cariati, 2000; Vázquez-Calvo, 2007).

II. OBJETIVO

Los objetivos de nuestro estudio son básicamente dos. El primero es la localización de whewellita en pinturas y decoraciones antiguas que, por los datos bibliográficos o tradición oral, hayan podido utilizar sustancias orgánicas en su composición inicial o como protección final y que, al tener soportes con iones calcio, hubieran podido dar lugar a la formación de aquella sustancia; este estudio se ha realizado mediante espectroscopia infrarroja, OM, SEM y EDS. El segundo es, una vez confirmada la existencia de whewellita en las muestras, obtener datos y sacar conclusiones a partir del análisis realizado con los métodos empleados, y de esta manera apoyar o no la hipótesis de la formación de la whewellita a través de procesos no biológicos.

III. METODOLOGÍA

Todas las muestras que se han estudiado podrían haber tenido material orgánico (ácidos grasos) en su composición inicial o como protección final.

La espectroscopia infrarroja (FT-IR) es la técnica seleccionada para llevar a cabo el estudio. El espectrómetro utilizado ha sido Nicolet-impact 410. Los espectros de las muestras se han realizado utilizando pastillas de bromuro potásico como soporte y se ha estudiado el intervalo 4000-400 cm^{-1}. La parte de las muestras que se ha tomado ha sido de la superficie, previamente pulverizada.

La identificación de compuestos orgánicos, puesto que en nuestras muestras no se puede aplicar técnicas de separación de componentes, se lleva a cabo mediante la espectroscopia IR, a pesar de que los

espectros pueden ser de difícil interpretación por la superposición de bandas. Frecuentemente las muestras pictóricas contienen en la superficie yeso, cuarzo, calcita y óxidos de hierro, cuyos espectros tienen algunas bandas en común con las del espectro de la whewellita. En el caso de que la muestra contenga o conserve algún tipo de sustancia orgánica sus señales también complicarían la identificación de la whewellita (Tabla 1). Las bandas más características de la whewellita, según el patrón suministrado por [Kidney Stones library (48)], (marcadas con un asterisco en los espectros de las figuras 7 y 8) son dos muy intensas, a 1620 cm^{-1} y a 1319 cm^{-1}, y otra de menor intensidad, a 782 cm^{-1} [Petrov *et al.,* 1975: 309-316]. Por esta razón, se ha observado preferentemente el intervalo 2000 cm^{-1} – 400 cm^{-1}, si bien se ha prestado más atención a las bandas características de la whewellita como identificación de las muestras estudiadas. En la tabla 1 se indican todas las bandas de los patrones utilizados en las muestras, junto con las del aceite de linaza, como comprobación de que ninguna de ellas coincide con las de los otros patrones ni con las muestras. Las bandas que se superponen se distinguen bien debido a la diferente intensidad (figuras 7 y 8).

La microscopía óptica (OM) ha servido para localizar zonas de pigmentos y las capas que pueda presentar la muestra.

La microscopía electrónica (SEM) se ha utilizado para la obtención de imágenes morfológicas (modo SE) y de composición (modo BSE). También se ha utilizado la espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDS) acoplada al microscopio electrónico para la obtención de análisis elementales. Los estudios SEM-EDS se realizan directamente sobre un fragmento de muestra embutido en resina preparado como probeta. El microscopio utilizado es Philips QUANTA 200.

Whewellita ν (cm^{-1})	Aceite Linaza ν (cm^{-1})	Cuarzo ν (cm^{-1})	Yeso ν (cm^{-1})	Fe_2O_3 ν (cm^{-1})	$CaCO_3$ ν (cm^{-1})
					1803 (d)
	1742,3 (mf)				
			1687 (d)		
1656 (h)	1653,5 (md)				
				1638 (m)	
1620 (mf)			1620 (m)		
	1463,5 (m)				
					1434 (mf, ancha)
1380 (d)	1370,7 (d)				
1319 (f)					
	1235.6 (m)				
	1159,7 (f)	1164 (h)	1172 (h)		
			1139 (mf)		
	1100,6 (m)	1097 (mf)	1112 (mf)		
			1011 (h)		
954 (d)					
887 (d)				892 (d)	878 (m)
780 (f)		799 (d – m)		795 (d)	
	716,5 (d – m)	695 (md)			713 (d)
665 (m)			671 (d – m)		
603 (d)			603 (m)		
				564 (mf)	
519 (m)		519 (d)			
		474 (m)		479 (f)	

Tabla 1. Comparación de los números de onda e intensidad de las bandas (entre paréntesis) de los patrones de referencia.

IV. RESULTADOS DEL ESTUDIO

La whewellita se ha buscado en pigmentos procedentes de dólmenes de los yacimientos de Cantera (Puerto Real), Carmona, MonteBajo (Benalup), Montelirio, en total 31 muestras todas pigmentos "ocres" que proceden de enterramientos prehistóricos, con un soporte aglomerante de calcita o en contacto con piedra caliza, no habiendo localizado whewellita en ninguna de estas muestras. También se han analizado en diversos proyectos de estudio de materiales pictóricos, aproximadamente cincuenta muestras, de pinturas sobre edificios de la zona de la bahía de Cádiz de diversa antigüedad: Fachadas de edificios de Cádiz, de El Puerto de Santa María y de San Fernando que corresponden a los siglos XVIII y XIX. Sólo se ha encontrado whewellita en dos: en la muestra procedentes de la Puerta del Sol de la Iglesia Mayor Prioral de El Puerto de Santa María y en la de la antigua cárcel de San Fernando, ambas en la provincia de Cádiz.

Mostramos a continuación el estudio de las muestras en las que se ha encontrado whewellita. Como ejemplo del método utilizado en todas las muestras estudiadas y de la discusión de resultados, sólo haremos el desarrollo completo en la muestra nº 1, mostrando en la segunda muestra únicamente la comparación de espectros IR, que sí presenta ligeras diferencias de interpretación respecto a la primera.

IV. 1. Muestra nº 1. Fragmento de recubrimiento en la Puerta del Sol de la Iglesia Mayor Prioral de El Puerto de Santa María (Cádiz)

Esta muestra se tomó del arco interior de la Puerta del Sol. Sólo en una pequeña zona interna del arco se conservan restos de pigmento rojizo y es una zona donde no llega la luz del sol y conserva mayor humedad. Presenta capas exteriores ennegrecidas con distintas tonalidades de ocres rojizos-amarillentos. La zona interior de la muestra es piedra calcarenita. Por tradición se considera frecuente en la zona la utilización de aceite de linaza para la aplicación de las decoraciones pictóricas a lo que se le atribuye el oscurecimiento del color.

Esta muestra contiene pigmento de óxidos de hierro y soporte de yeso. Mediante microscopía óptica se obtuvieron imágenes de las capas que forman la decoración sobre la piedra. Como ejemplo se muestra la Figura 1, en la que se observan los granos de pigmento rojo y amarillo, las zonas blancas deaglomerante, algunas partículas negras que podrían indicar la existencia de organismos microbiológicos y una zona color acaramelado que prodría sugerir la utilización de algún aglomerante oleoso o también podría ser la whewellita.

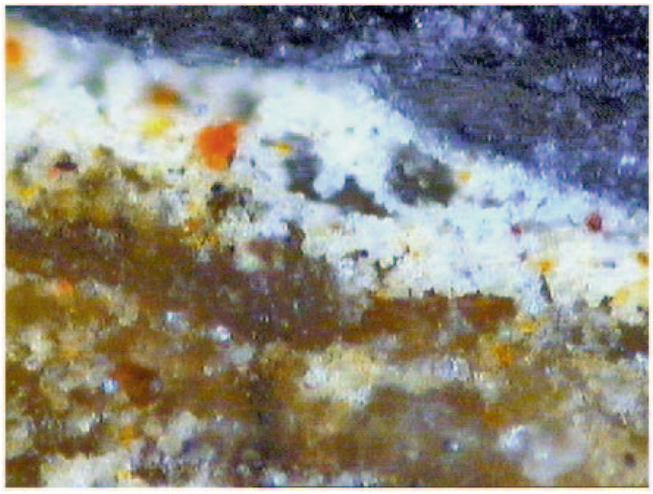


Figura 1. OM. En la capa exterior se observan los granos de pigmento rojo, las zonas blancas de aglomerante, algunas partículas negras y una zona color acaramelado que prodría sugerir la utilización de algún aglomerante oleoso o también podría ser la whewellita.

Por observación mediante SEM de un corte transversal de la muestra embutida en resina, se distinguen las distintas estructuras y capas. En la figura 2 se observa la estructura de la piedra calcarenita con granos de cuarzo cementados con calcita y sobre ella la capa pictórica formada por pigmento de óxidos de hierro y silicatos (tierras rojas) en aglutinante de yeso como se comprueba mediante los análisis de espectroscopía de energía dispersiva (EDS), técnica acoplada al microscopio (fig.6).

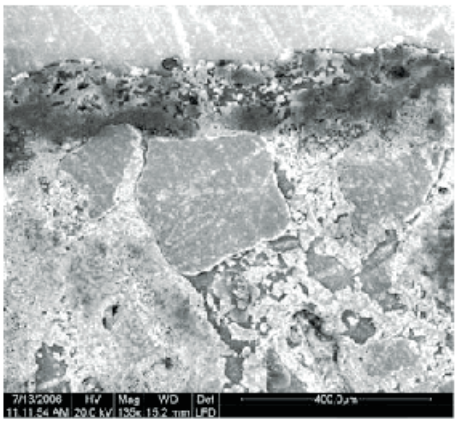


Figura 2. SEM, modo SE. Morfología del corte transversal (135x) de la muestra. Zona externa de la muestra: estructura de la capa pictórica. Zona interna (inferior en la fotografía): estructura de la piedra constructiva (calcarenita).

La figura 3 corresponde a la misma imagen que la 2 pero en modo de detección BSE que indica distintas densidades del material: se observan los granos de pigmento como zonas muy brillantes inmersas en la zona del aglutinante y unas zonas oscuras que indican material de muy baja densidad que podría tratarse de material orgánico o de la whewellita. Puesto que no se ha detectado material orgánico podría tratarse de la whewellita formada.

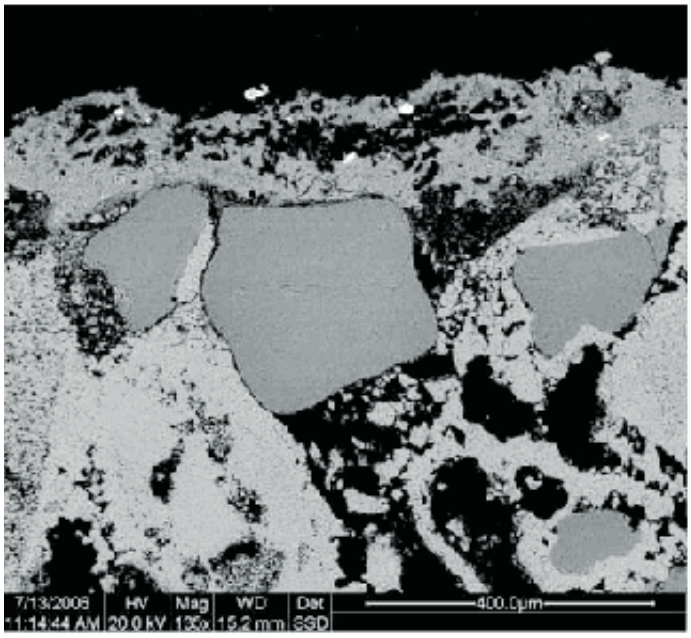


Figura 3. SEM, modo BSE. Mapa de distintas densidades de la imagen anterior (135x). La mayor densidad corresponde a mayor masa atómica de los elementos químicos presentes y se muestra por el mayor brillo en la imagen. En este caso el mayor brillo corresponde al hierro que forma parte del pigmento. Las zonas más grises a los granos de sílice. Las zonas oscuras a sustancias de baja densidad que pueden ser huecos o compuestos orgánicos. Las zonas claras pero no las más brillantes corresponden a compuestos de densidad intermedia como el yeso y la calcita.

En las figuras 4 y 5 se observan detalles como las estructuras de yeso y algunas morfologías que podrían atribuirse a sustancias orgánicas (señal flecha). Mediante EDS acoplado a la SEM se han determinado elementos químicos en zonas seleccionadas de las imágenes anteriores. La figura 6 muestra algunos de los espectros obtenidos:

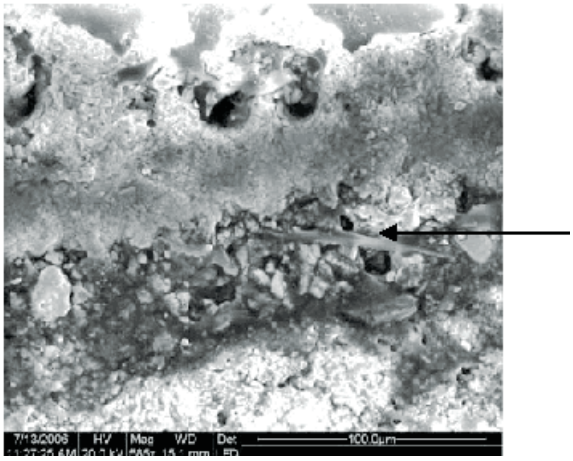


Figura 4. SEM, modo SE a mayores aumentos (585x).Se observan morfologías cristalinas y amorfas. Algunas de estas podrían asociarse a estructuras orgánicas (Flecha).

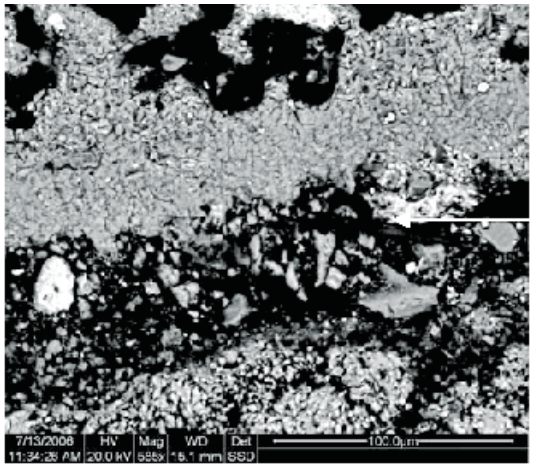


Figura 5. SEM, modo BSE (585x). Algunas de las estructuras brillan intensamente y corresponden a granos de pigmento de hierro. Otras estructuras observadas en modo SE aparecen ahora oscuras (flecha) lo que es indicio de sustancia orgánica. Las zonas de estructuras cristalinas de la parte superior de la fotografía electrónica se asocian a cristales de yeso en su mayoría y las de la zona inferior a calcita poco compactada.

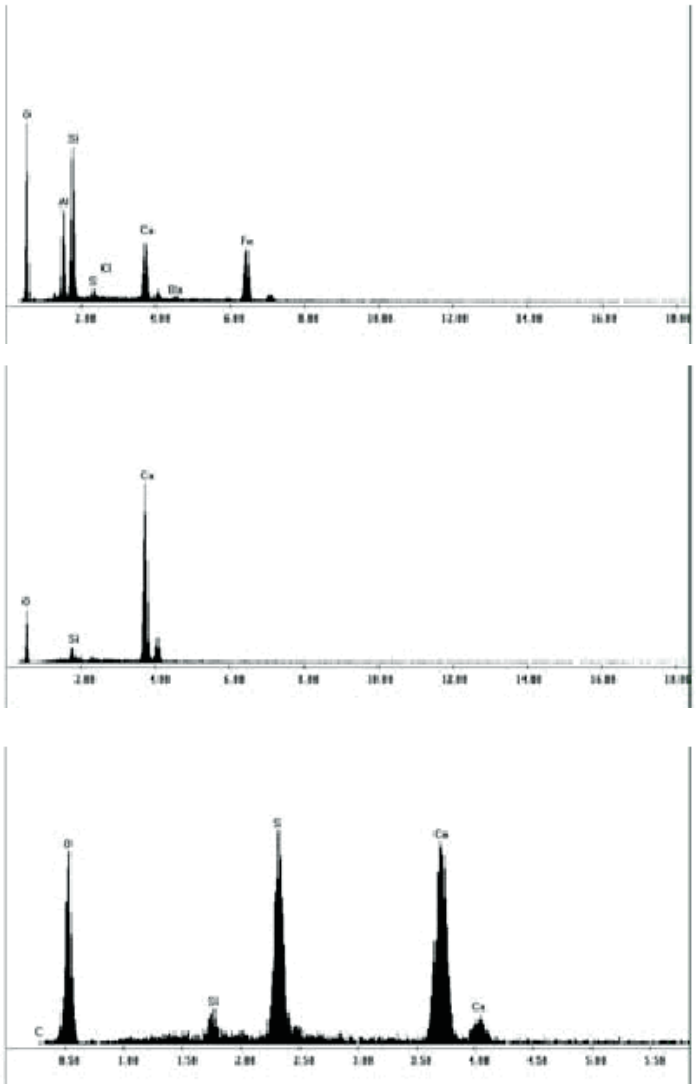


Figura 6. Sup.: Grano de calcita. Centro: Grano de pigmento de tierra roja: silicatos + óxidos de hierro. Inf.: Grano de yeso de la zona cristalizada en la parte superior de la fotografía.

A la vista de estos resultados, se puede confirmar la existencia de las sustancias inorgánicas habituales en este tipo de muestras (soporte, pigmentos), pero en cuanto a la whewellita sólo podemos suponer su presencia mediante SEM en las zonas oscuras de las imágenes BSE, en las que los análisis EDS nos dan la presencia de carbono, oxígeno y calcio que podríamos confundir con calcita o con cualquier sustancia como por ejemplo aceite de linaza.

Para poder corroborar estos resultados se han registrado los espectros IR de la muestra, las sustancias inorgánicas y la whewellita (fig. 7).

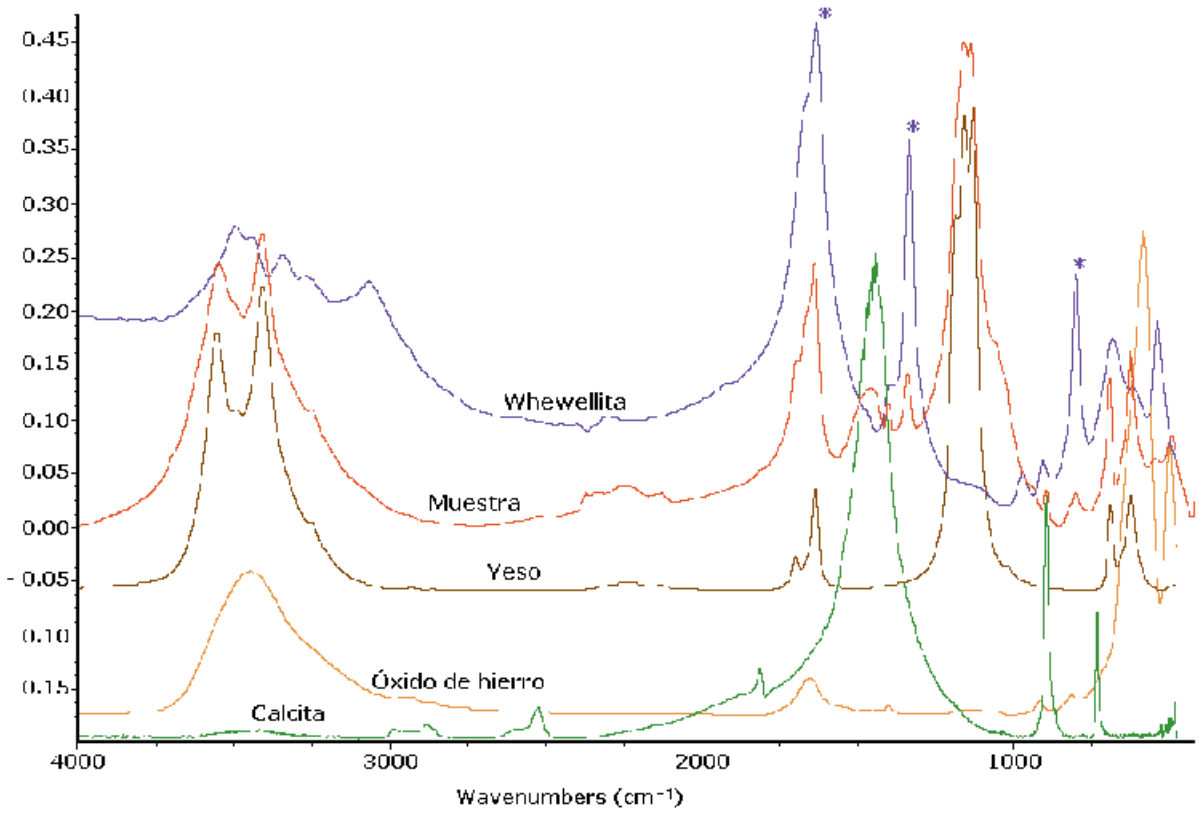


Figura 7. Espectros IR de la muestra y de los patrones de las sustancias presentes. La muestra es la correspondiente a la Puerta del Sol de la Iglesia Mayor Prioral.

A la vista del espectro FTIR (fig.7), el pigmento aparece mezclado con yeso, calcita y con la whewellita (oxalato de calcio), pero no se detectan posibles sustancias orgánicas. Así pues, se podemos afirmar que hemos detectado whewellita en esta muestra de material pictórico, que se ha conservado en el arco de la Puerta del Sol de la Iglesia Prioral de El Puerto de Santa María. Podríamos suponer que se ha conservado en esta zona del arco a causa de la formación de la whewellita, que endurece e insolubiliza la decoración pictórica aunque la oscurece. Debido a las condiciones ambientales en la zona de extracción de la muestra, distintas de las del resto del arco donde no se ha conservado nada de la decoración primitiva, es posible que haya podido existir alguna actividad microbiológica que haya metabolizado sustancias orgánicas, produciendo iones oxalato que han dado lugar a la whewellita observada.

IV. 2. Muestra nº 2. Pintura mural de la antigua carcel de San Fernando (Cádiz)

La muestra corresponde a una decoración de pigmento rojo de un paramento interior a una altura de un metro del suelo aproximadamente. El paramento mostraba numerosos desconches de la pintura producidos por la elevada capilaridad del material base, sin embargo se podía intuir la decoración primitiva de dibujos geométricos en distintos tonos rojizos. A través de los planos de la cárcel, es interesante saber que cerca del lugar donde se tomó la muestra, estaban ubicados los urinarios.

Los espectros EDS y la observación mediante SEM en sus dos modos (SE y BSE) confirman la presencia de las sustancias inorgánicas, pero no aportan ninguna información adicional sobre la presencia de whewellita, por las mismas razones que en la muestra anterior. Siguiendo el mismo proceso que en el caso anterior, se registraron los espectros IR de la muestra, los materiales inorgánicos y la whewellita (fig. 8).

En este caso la identificación de whewellita podría ser más incierta, puesto que si bien el número de ondas a las que aparecen las bandas coinciden en mayor o menor grado, no ocurre lo mismo si se comparan las intensidades. La banda que más lo acusa es la que aparece a 1319 cm^{-1} en la whewellita, que sólo podría identificarse con una señal débil del espectro de la muestra (hombro a 1331cm^{-1}). No obstante, por la forma del espectro, pensamos que la whewellita puede estar presente en esta muestra.

La señal que aparece a 1389 cm^{-1} en el espectro de la muestra corresponde a la presencia de nitratos, ya que por capilaridad han podido ascender a causa de la cercanía de los urinarios de la cárcel. Esta última circunstancia podría ser la causa de la presencia de la whewellita por los posibles oxalatos generados.

ν (cm^{-1}) Whewellita	ν (cm^{-1}) Muestra	ν (cm^{-1}) Yeso	ν (cm^{-1}) Fe_2O_3	ν (cm^{-1}) $CaCO_3$
				1803 (d)
	1681 (h)	1687 (d)		
1656 (h)	1641 (h)			
			1638 (m)	
→ 1620 (mf)	1623 (f)	1620 (m)		
	1443 (m)			1434 (mf, ancha)
1380 (d)	1382 (m)			
→ 1319 (f)	1325 (f)			
		1172 (h)		
	1142,5 (mf)	1139 (mf)		
	1121 (mf)	1112 (mf)		
	1045 (h)			
		1011 (h)		
954 (d)				
	920 (h)			
887 (d)	878 (d)		892 (d)	878 (m)
→ 780 (f)	783 (d)		795 (d)	
				713 (d)
665 (m)	674 (m)	671 (d – m)		
603 (d)	606 (m)	603 (m)		
			564 (mf)	
519 (m)	524 (d)			
	476 (d)		479 (f)	

Tabla 2. Justificación del espectro de la muestra e intensidad de las bandas (entre paréntesis). Las flechas corresponden a las bandas de la whewellita marcadas con un asterisco en el espectro.

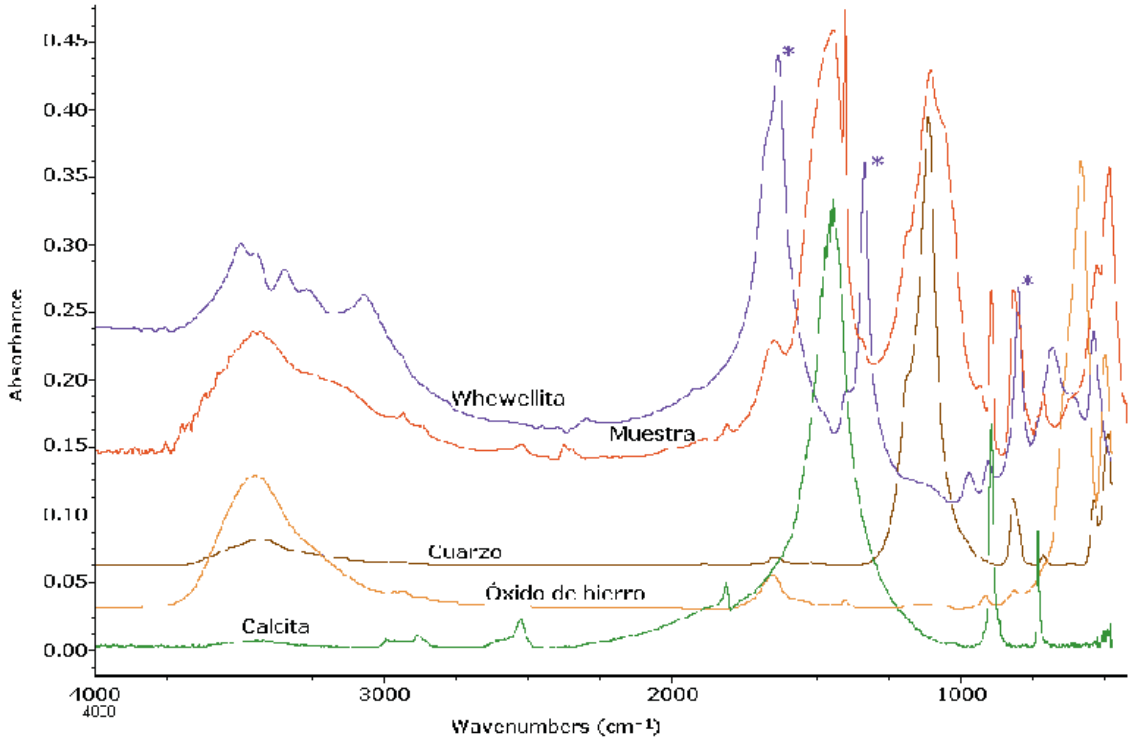


Figura 8. Espectro FTIR de la muestra de paramento de la carcel de San Fernando y de los patrones de las sustancias presentes.

ν (cm^{-1}) Whewellita	ν (cm^{-1}) Muestra	ν (cm^{-1}) Cuarzo	ν (cm^{-1}) Fe_2O_3	ν (cm^{-1}) $CaCO_3$
	1797 (d)			1803 (d)
1656 (h)				
			1638 (m)	
→ 1620 (mf)	1632 (m)			
	1428 (mf)			1434 (mf, ancha)
1380 (d)	1389 (mf) *			
→ 1319 (f)	1331 (h)			
		1164 (h)		
	1087 (mf)	1097 (mf)		
	1057 (h)			
954 (d)				
	917 (md)			
			892 (d)	
887 (d)	874 (m)			878 (m)
→ 780 (f)	798 (m)	799 (d – m)	795 (d)	
	695 (d)	695 (md)		713 (d)
665 (m)				
603 (d)	594 (h)			
			564 (mf)	
519 (m)	509 (m)	519 (d)		
	464 (f)	474 (m)	479 (f)	

* Nitrato

Tabla 3. Justificación del espectro de la muestra e intensidad de las bandas (entre paréntesis). Las flechas corresponden a las bandas de la whewellita marcadas con un asterisco en el espectro.

V. CONCLUSIONES

1. La detección de la whewellita en pinturas puede ser dudosa cuando en las muestras hay otros componentes típicos de los soportes y del pigmento.

2. Se ha supuesto en algunas publicaciones que las pinturas que utilizan sustancias grasas mezcladas con el pigmento generan, en presencia de iones calcio, el mineral whewellita nada más que por oxidación de los ácidos grasos.

Nuestros resultados no apoyan esta afirmación puesto que en los dos casos en que hemos detectado whewellita ha habido circunstancias que podrían justificar su presencia. Así, en el caso de la muestra de la pintura roja en el arco del sol de la Iglesia Mayor Prioral de El Puerto de Santa María, podría justificarse la presencia de whewellita por las condiciones ambientales de esta muestra, que podrían haber generado organismos microbiológicos que hubieran podido metabolizar las sustancias orgánicas y generar oxalatos, apoyando con ello el origen biológico de la whewellita. La otra muestra estudiada y presentada en este trabajo, obtenida en un paramento de la cárcel de San Fernando, que podría contener whewellita, puede ser atribuida a oxalatos procedentes de residuos biológicos.

3. No ha podido encontrarse whewellita en los numerosos pigmentos rojos encontrados en restos funerarios y tampoco se han detectado señales de sustancias grasas.

4. Todo ello nos lleva a considerar que la formación de whewellita a partir de sustancias orgánicas empleadas en la ejecución de la pintura no es una interpretación válida a no ser que se admita el origen biológico.

REFERENCIAS

CARIATI, F. y RAMPAZZI, L. 2000: “Calcium oxalate films on stone surfaces: experimental assessment of the chemical formation”. *Studies in conservation* 45 (3): 180-188 (ISSN 0039-3630).

DEL MONTE, M.; SABBIONI,C. y ZAPPIA,G. 1987: “The origin of calcium oxalates on historical buildings, monuments and natural outcrops”. *The science of the total environement* 67. Elsevier. Amsterdan:17-39.

GARCIA-VALLÈS, M.; KRUMBEIN, W.E.; URZÌ, C. y VENDRELL-SAZ, M. 1996: “Biological pathways leading to the formation and transformation of oxalate-rich layers on monument surfaces exposed to mediterranean climate”). In: Realini, M.; Toniolo, L. (Eds.): *Proceedings of the II International Symposium on the Oxalate Films in the Conservation of Works of Art.* EDITEAM s.a.s. Milan: 319–334.

GARCIA-VALLÈS, M.; VENDRELL-SAZ, M.; KRUMBEIN, W.E. y URZÌ, C. 1997: “Coloured mineral coatings on monument surfaces as a result of biomineralization: the case of the Tarragona Cathedral (Catalonia)”. *Applied Geochemistry* 12: 255–266.

MONTE, M. 2003: “Oxalate film formation on marble specimens caused by fungus”. *Journal of Cultural Heritage* 4 (3). Elsevier: 255-258.

PETROV, I. y SOPTRAJANOV, B. 1975: “Infrared spectrum of whewellite”. *Spectrochimica Acta,* vol. 31A. Pergamon Press. Northern Ireland: 309-316.

RAMPAZZI, L.; ANDREOTTI, A.; BONADUCE, I.; COLOMBINI, M.P.; COLOMBO, C. y TONIOLO, L. 2004: “Analytical investigation of calcium oxalate film son marble monuments”. *Talanta* 63 (4): 967-977.

RAMPAZZI, L.; CARIATI, F.; TANDA, G. y COLOMBINI, M.P. 2002: “Characterisation of wall paintings in the SoS Furrighesos necropolis (Anela, Italy)”. *Journal of Cultural Heritage* 3 (3). Elsevier.

RUSS, J.; KALUARACHCHI, W.D.; DRUMMOND, L.; EDWARDS y HOWELL, G.M. 1999: “The nature of a whewellite-rich rock crust associates with pictographs in Southwestern Texas”. *Studies in Conservation* 44: 91–103.

VAZQUEZ-CALVO, C.; ALVAREZ DE BUERGO, M.; FORT, R. y VARAS, M.J. 2007: “Characterization of patinas by means of microscopic techniques”. *Materials Characterization* 58 (11-12). 10th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM): 1119-1132.