

VIII CONGRESO IBÉRICO DE ARQUEOMETRÍA

ACTAS

M.^a Esperanza Saiz Carrasco
Raúl López Romero
M.^a Ascensión Cano Díaz-Tendero
Juan Carlos Calvo García
(eds.)

Teruel, 19 - 21 de octubre de 2009

VIII Congreso Ibérico de Arqueometría

ACTAS

M.^a Esperanza Saiz Carrasco
Raúl López Romero
M.^a Ascensión Cano Díaz-Tendero
Juan Carlos Calvo García
(eds.)

Teruel, 19 - 21 de octubre de 2009

Comité Organizador

Juan Carlos Calvo García	<i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>
Ramiro Alloza Izquierdo	<i>Lab. de Análisis e Investigación de Bienes Culturales. Gob. de Aragón</i>
Clodoaldo Roldán García	<i>Universidad de Valencia</i>
Jesús Picazo Millán	<i>Universidad de Zaragoza</i>
Pilar Lapuente Mercadal	<i>Universidad de Zaragoza</i>
Raúl López Romero	<i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>
M.ª Esperanza Saiz Carrasco	<i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>

Comité Científico

Josefina Pérez Arantegui	<i>Universidad de Zaragoza</i>
Ignacio Montero Ruíz	<i>Instituto de Historia C.S.I.C.</i>
Marius Vendrell Saz	<i>Universidad de Barcelona</i>
Ernestina Badal García	<i>Universidad de Valencia</i>
Juan Gregorio Rejas Ayuga	<i>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial</i>
Joaquín Barrio Martín	<i>Universidad Autónoma de Madrid</i>
M.ª Asunción Millán Chagoyen	<i>Universidad Autónoma de Madrid</i>
Blanca Gómez Tubío	<i>Universidad de Sevilla</i>
Maria Isabel Prudencio	<i>Instituto Tecnológico e Nuclear de Lisboa</i>
M.ª José Feliú Ortega	<i>Universidad de Cádiz</i>
Salvador Rovira Llorens	<i>Museo Arqueológico Nacional</i>

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático.

© 2010, de la obra: los editores

© 2010, de cada artículo: sus autores

Editores

M.ª Esperanza Saiz Carrasco
Raúl López Romero
M.ª Ascensión Cano Díaz-Tendero
Juan Carlos Calvo García

ISBN: 978-84-8854938-9

COMPOSICIÓN DE TEXTOS Y MAQUETACIÓN: AREBASIKO S.L

EDITA: Seminario de Arqueología y Etnología Turolense

PRESENTACIÓN

En estas breves líneas se presentan las Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría, celebrado en Teruel del 19 al 21 de octubre de 2009, y que suponen el culmen del mismo.

Desde el Comité Organizador, compuesto por dos entidades comprometidas con el estudio y la defensa del Patrimonio Cultural como son la Sociedad Española de Arqueometría aplicada al Patrimonio Cultural (SAPAC) y el Seminario de Arqueología y Etnología Turolense (SAET), estamos convencidos de que la celebración del Congreso ha remarcado el auge de las investigaciones en arqueometría y ha evidenciado la necesidad de incrementar los puntos de contacto entre las diferentes ciencias implicadas en su desarrollo y encauzar su impulso para ser productivo. Por tanto, consideramos que los objetivos planteados con la celebración de este Congreso se han superado con buena nota.

El éxito de convocatoria del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría ha sido notable. El Congreso ha reunido por segunda vez, tras el éxito del anterior organizado por el CSIC en Madrid, a más de una centena de investigadores relacionados con las diferentes temáticas que engloba la arqueometría, con un elevado número de aportaciones.

De forma concreta, creemos que ha supuesto un punto de inflexión en cuanto a la valoración de las investigaciones que se están desarrollando en este campo desde los proyectos I+D. De este modo, hay que destacar la alta presencia de estudiantes tanto de aquellos que están desarrollando sus estudios de licenciatura, como los que están en fase predoctoral, dentro de ese marco de investigación.

Igualmente, nos gustaría felicitar a la SAPAC por la puesta en marcha de la página web de la asociación (<https://www.sapac.es>), cuya presentación se realizó en el marco del propio Congreso. Esta página será de vital trascendencia para la continuidad del desarrollo de la Arqueometría como ciencia al facilitar el intercambio de información, experiencias y metodología de distintos grupos interdisciplinares, procedentes de entidades variadas.

Ante la emergencia y la importancia de las nuevas formas de información y de almacenaje, tanto para los especialistas como para los propios investigadores, se ha optado por seguir el mismo criterio que en el Congreso anterior y presentar la publicación de las actas como libro electrónico, accesible a todos los interesados a través de la página web oficial del Congreso (<http://www.segeda.net/8cia/8cia.htm>).

Por último, como Comité Organizador queremos aprovechar estas líneas para reflexionar sobre la importancia de que una ciudad como Teruel haya acogido un Congreso de estas características, por un doble motivo. La propia temática del Congreso favorecía su celebración en una ciudad donde la importancia del patrimonio es el motor futuro de su desarrollo. Además, los distintos procesos de análisis llevados a cabo en las torres mudéjares, símbolo de la ciudad, demostraron la relevancia de estos estudios durante su proceso de restauración. Por otro lado, el hecho de que una ciudad pequeña haya acogido a tantos participantes y todo se haya desarrollado con éxito, supone un gran aliciente para el desarrollo de futuras actividades de este tipo, en el marco del Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, como entidad dedicada a la difusión y estudio del patrimonio.

No queremos terminar estas líneas sin agradecer a todos los inscritos su participación y asistencia, fundamental contribución al éxito del Congreso.

Comité Organizador

Teruel, noviembre 2010

ÍNDICE

pág.

Presentación	III
ÍNDICES	
Índice general	IV
Índice de autores	VII
Índice geográfico y toponímico	X
COMUNICACIONES	
Sesión Biomateriales y estudios paleoambientales	3
BADAL, E. y CARRIÓN, Y., <i>El uso de los vegetales durante la Edad del Hierro en el Cabezo de la Cruz (Zaragoza)</i>	5
Sesión Análisis de materiales. Cerámicas	21
POLVORINOS, A. et al., <i>Análisis por RBS de la evolución de la microestructura de los lustres de Manises (Valencia) entre los siglos XIV-XVIII</i>	23
SAIZ, M. ^a E. et al., <i>Aproximación a la alfarería de época celtibérica en el Sistema Ibérico Central: caracterización de las producciones de los alfares de la provincia de Teruel</i>	37
BUXEDA, J. y TUSET, F., <i>Las producciones altoimperiales de Terra Sigillata Hispánica Dorada (TSHD) y de Terra Sigillata Hispánica (TSH) de Clunia según su caracterización arqueométrica</i>	49
IÑÁÑEZ, J. G. y BUXEDA, J., <i>Los talleres de fabricación de Mayólica de Obradors/Sant Anastasi y Remolins de la ciudad de Lleida (siglos XVI-XVII) a través de su caracterización arqueométrica</i>	57
MADRID, M., <i>Proveniencia y tecnología de las producciones de Terra Sigillata Itálica documentadas en la ciudad romana de Baetulo (Badalona, Barcelona) a través de su caracterización arqueométrica</i>	65
INÁCIO, N. et al., <i>Análisis estructural químico y mineralógico de productos cerámicos asociados a la producción metalúrgica del III milenio a.n.e: el caso de Valencina de la Concepción (Sevilla)</i>	75
LANTES, O.; PRIETO, M. P. y MARTÍNEZ, A., <i>Caracterización de la pasta blanca incrustada en decoraciones de campaniformes gallegos. Indagando sobre su procedencia</i>	87
Sesión Análisis de materiales. Pigmentos y técnicas pictóricas	101
ROLDÁN, C. et al., <i>Análisis de la pintura mural de una domus excavada en el municipio romano de Lesera (la Moleta dels Frares, Forcall - Castellón)</i>	103
AGUIAR, M. et al., <i>Painting on cardboard in the beginning of the XX century, in Portugal: Aurélia de Souza, a forgotten artist on a time of technical changes</i>	113
HUNT, M. y HURTADO, V., <i>La utilización de mineral de mercurio como pigmento en ámbitos funerarios de época Calcolítica en el Sur de la Península Ibérica: determinación de los depósitos minerales utilizados, redes de distribución y uso a través de su caracterización composicional e isotópica</i>	123
Sesión Análisis de materiales. Lítico, vidrio y hueso	133
ODRIOZOLA, C. P.; LINARES, J. A. y HURTADO, V., <i>Caracterización de la variscita de Pico Centeno (Encinasola, Huelva) y de las cuentas de collar procedentes de yacimientos prehistóricos del Suroeste</i>	135

	pág.
Sesión Análisis de materiales. Lítico, vidrio y hueso	
ROYO, H.; LAPUENTE, P. y NOGALES, T., <i>Primeros resultados arqueométricos en el estudio de los programas estatuarios del foro de Regina (Provincia Baetica)</i>	147
MURCIA, S.; ROLDÁN, C. y RODENAS, I., <i>Análisis no destructivo de conjuntos litúrgicos de vidrio de la colegiata de Gandía (Valencia)</i>	157
HUNT, M. et al., <i>Exámen arqueométrico de un objeto de hueso decorado de época almohade (s. XIII d. C. procedente de la excavación arqueológica de la calle San Fernando, Sevilla)</i>	165
Sesión Análisis de materiales. Metales	
PEREA, A. y GARCÍA, J. R., <i>Análisis MEB de la orfebrería fenicia de Les Casetes (Villajoyosa, Alicante)</i>	177
SALVÀ, B. et al., <i>Aproximación a la metalurgia prehistórica de las Baleares: estudio analítico de minerales cupríferos</i>	193
RODRÍGUEZ, M. et al., <i>El barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción (Sevilla): procesos de producción vinculados a la manufactura de productos de cobre</i>	207
Sesión Prospección geofísica y teledetección	
GARCÍA, E.; SALA, R. y SAN JOSÉ, S., <i>Descripción geofísica de un derrumbe. Prospección georadar y corrección topográfica en el poblado fortificado de Munoandi (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa)</i>	221
ZANCAJO, J. y MOSTAZA, T., <i>Técnicas de documentación métrica y gestión espacial del Patrimonio</i>	231
LÓPEZ, R. et al., <i>Experiencias teledetección pasiva y activa en el estudio arqueológico de la ciudad celtibérica de Segeda (Mara, Zaragoza)</i>	239
Sesión Datación	
MONGE, A. M.; MEDEROS, A. y MATOS, J. M., <i>Correcção das Datas de Radiocarbono de Conchas Marinhas provenientes do Arquipélago das Canárias</i>	251
SANJURJO, J. et al., <i>Consideraciones metodológicas en la datación por Luminiscencia de materiales de construcción: el caso de los morteros</i>	261
Sesión Arqueoastronomía	
MEJUTO, J. y RODRÍGUEZ, C., <i>La metodología en los estudios arqueoastronómicos</i>	271
CERDEÑO, M. ³ L. y RODRÍGUEZ, G., <i>La arqueoastronomía ¿una arqueometría más?</i>	279
PÉREZ, M.; BURILLO, F. y LÓPEZ, R., <i>Estudio Arqueoastronómico de la plataforma de Segeda</i>	287

PÓSTERS

Sesión Biomateriales y estudios paleoambientales	295
AFONSO, J. A., <i>Fitolitos y otros microfósiles en la Prehistoria de Canarias: una propuesta metodológica desde la Microarqueología</i>	297
EUBA, I. y ALLUÉ, E., <i>Alteraciones biológicas de la madera: El estudio de los materiales constructivos del yacimiento de Estall Serrer (Valle del Madriu, Andorra)</i>	305
 Sesión Análisis de materiales. Cerámicas	 315
ALBERO, D. y GARCÍA, E., <i>Estrategias de gestión de los recursos arcillosos en la Prehistoria de Mallorca (1000-123 a. C.): usos cerámicos y no cerámicos.....</i>	317
 Sesión Análisis de materiales. Pigmentos y técnicas pictóricas	 327
PITARCH, A. et al., <i>Caracterización de estucos y pigmentos del establecimiento romano republicano de Can Tacó-Turó d'en Roïna (Montmeló-Montornès del Vallès, Barcelona).....</i>	329
PITARCH, A. et al., <i>Pinturas murales de la ciudad romana de Iesso: resultados preliminares de la caracterización de los pigmentos mediante técnicas no destructivas</i>	337
KRIZNAR, A. et al., <i>Caracterización de la colección del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis</i>	347
CARBALLO, J., <i>Análisis por EDXRF de cinco paneles del pintor manierista portugués Francisco Correia</i>	357
 Sesión Análisis de materiales. Lítico.....	 367
CASTAÑEDA, V. et al., <i>Geología, materias primas, áreas de captación y tecnología de las sociedades de finales del Achelense en el Campo de Gibraltar</i>	369
POLVORINOS, A. et al., <i>Variabilidad espectral VIS-SWIR de objetos líticos de carácter cultural en el yacimiento calcolítico de La Pijotilla</i>	379
 Sesión Análisis de materiales. Metales	 387
POLVORINOS, A. et al., <i>Caracterización arqueométrica e hipótesis funcional de "crisoles planos" escurificados procedentes del yacimiento calcolítico de S. Blas (Cheles, Badajoz)</i>	389
 Sesión Prospección geofísica y teledetección	 401
MOSTAZA, T. et al., <i>Aplicación del Escaner Láser 3D a la documentación Espacial de yacimientos arqueológicos</i>	403
ROGERIO-CANDELERIA, M. A. y ELEZ, J., <i>Elaboración de un nuevo calco del cáprido de la Sala de La Hoya (cueva de Altamira) mediante técnicas de análisis de imagen</i>	409
ROGERIO-CANDELERIA, M. A. et al., <i>Análisis de imagen de pinturas rupestres del yacimiento de Faia (Parque Arqueológico de Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal)</i>	419
 Sesión Conservación del patrimonio	 429
ALVAREZ, A.; PITARCH, A. y ARROYO, P., <i>Estado de conservación y propuesta de restauración de la iglesia de Sant Vicenç (Tossa de Mar, Gerona)</i>	431

Índice de autores

pág.

A		
ABRIL LÓPEZ, Daniel	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207
AFONSO VARGAS, José A.	Póster Biomateriales	297
AGUIAR, María	Sesión Pigmentos	113
ALBERO SANTACREU, Daniel	Póster Cerámica	317
ALLUÉ MARTÍ, Ethel	Póster Biomateriales	305
ALMARZA LÓPEZ, Javier	Póster Lítico	379
	Póster Metales	389
ÁLVAREZ PÉREZ, Aureli	Póster Pigmentos	329
	Póster Pigmentos	337
	Póster Patrimonio	431
ARASA GIL, Ferran	Sesión Pigmentos	103
ARROYO CASALS, P.	Póster Patrimonio	431
AUCOUTURIER, Marc	Sesión Cerámicas	23
B		
BADAL GARCÍA, Ernestina	Sesión Biomateriales	5
BERNÁLDEZ SÁNCHEZ, Eloisa	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
BOUQUILLON, Anne	Sesión Cerámicas	23
BURBIDGE, Christopher I.	Sesión Datación	261
BURILLO MOZOTA, Francisco	Sesión Cerámicas	37
	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
	Sesión Arqueoastronomía	287
BUXEDA i GARRIGÓS, Jaume	Sesión Cerámicas	49
	Sesión Cerámicas	57
C		
CANO DÍAZ, M. ^a Ascensión	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
CALVO MANUEL, Ana Maria	Sesión Pigmentos	113
CARBALLO MARTINEZ, Jorgelina	Sesión Pigmentos	113
	Póster Pigmentos	357
CARRIÓN MARCO, Yolanda	Sesión Biomateriales	5
CASTAING, Jacques	Sesión Cerámicas	23
CASTAÑEDA FERNÁNDEZ, Vicente	Póster Lítico	359
CERDEÑO SERRANO, M. ^a Luisa	Sesión Arqueoastronomía	279
COSTELA MUÑOZ, Yolanda	Póster Lítico	369
CRUZ, António João	Sesión Pigmentos	113
D		
DÍAS, María Isabel	Sesión Datación	261
E		
ÉLEZ VILLAR, Javier	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	409
EUBA REMENTERIA, Itxaso	Póster Biomateriales	305
F		
FANLO LORAS, Javier	Sesión Cerámicas	37
FARJAS ABADÍA, Mercedes	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
FERNÁNDEZ MOSQUERA, Daniel	Sesión Datación	261
FORTEZA GONZÁLEZ, Matilde	Póster Lítico	379
	Póster Metales	389
G		
GARCÍA AMENGUAL, Emilio	Póster Cerámica	317
GARCIA GARCIA, Ekhine	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	221
GARCÍA GANDÍA, José Ramón	Sesión Metales	177
GARCÍA IÑÁÑEZ, Javier	Sesión Cerámicas	57
GÓMEZ, Rocío	Póster Lítico	379
GÓMEZ TUBÍO, Blanca	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
GUIMARÃES, Pedro	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	419
GUITART DURÁN, Josep	Póster Pigmentos	329
	Póster Pigmentos	337

H

HERNÁNDEZ ARNEDE, M. ^a Jesús	Póster Lítico	379
	Póster Metales	389
HURTADO PÉREZ, Víctor M.	Sesión Pigmentos	123
	Sesión Lítico, vidrio y hueso	135
	Póster Lítico	379
	Póster Metales	389
HUNT ORTIZ, Mark A.	Sesión Pigmentos	123
	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
	Póster Metales	389

I

IGEA ROMERA, Jesús	Sesión Cerámicas	37
INÁCIO, Nuno Miguel de Franco	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207

J

JUANES, David	Sesión Pigmentos	103
---------------	------------------	-----

K

KRIŽNAR, Anabelle	Póster Pigmentos	347
-------------------	------------------	-----

L

LANTES-SUÁREZ, Oscar	Sesión Cerámicas	87
LAPUENTE MERCADAL, Pilar	Sesión Cerámicas	37
	Sesión Lítico, vidrio y hueso	147
LINARES CATELA, Jose Antonio	Sesión Lítico, vidrio y hueso	135
LÓPEZ QUIROGA, Jorge	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	403
LÓPEZ ROMERO, Raúl	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
	Sesión Arqueoastronomía	287
LÓPEZ TORRES, Pina	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
LLULL ESTARELLAS, Bartomeu	Sesión Metales	193

M

MADRID i FERNÁNDEZ, Marisol	Sesión Cerámicas	65
MARTÍNEZ CORTIZAS, Antonio	Sesión Cerámicas	87
MARTÍNEZ TEJERA, Artemio	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	403
MARTINHO BAPTISTA, António	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	419
MATOS MARTINS, José M.	Sesión Datación	251
MEDEROS MARTÍN, Alfredo	Sesión Datación	251
MEJUTO GONZÁLEZ, Javier	Sesión Arqueoastronomía	271
MONGE SOARES, António M.	Sesión Datación	251
MOSTAZA PÉREZ, Teresa	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	231
	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	403
MURCIA-MASCARÓS, Sonia	Sesión Lítico, vidrio y hueso	157
MUÑOZ RUBIO, María del Valme	Póster Pigmentos	347

N

NIETO LIÑÁN, José Miguel	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207
NOCETE CALVO, Francisco	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207
NOGALES BASARRATE, Trinidad	Sesión Lítico, vidrio y hueso	147

O

ODRIOZOLA LLORET, Carlos P.	Sesión Lítico, vidrio y hueso	135
ONTALBA SALAMANCA, M. ^a Ángeles	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
ORTEGA FELIÚ, Inés	Sesión Lítico, vidrio y hueso	165
ORTÍZ, J. C.	Póster Patrimonio	431

P		
PALET MARTÍNEZ, Josep Maria	Póster Biomateriales	305
De la PAZ CALATRAVA, Fuensanta	Póster Pigmentos	347
PEREA CAVEDA, Alicia	Sesión Metales	177
PÉREZ ARANTEGUI, Josefina	Sesión Cerámicas	37
PEREZ CAMPS, Josep	Sesión Cerámicas	23
PÉREZ RAMOS, Luis	Póster Lítico	369
PÉREZ GUTIERREZ, Manuel	Sesión Arqueoastronomía	287
PERELLÓ MATEO, Laura	Sesión Metales	193
PICAZO MILLÁN, Jesús	Sesión Biomateriales	5
PITARCH MARTI, África	Póster Pigmentos	329
	Póster Pigmentos	337
	Póster Patrimonio	431
POLVORINOS DEL RÍO, Angel	Sesión Cerámicas	23
	Póster Lítico	379
	Póster Metales	389
PRIETO-MARTÍNEZ, M. ^a Pilar	Sesión Cerámicas	87
PRUDÊNCIO, Maria Isabel	Sesión Datación	261
Q		
QUERALT MITJANS, Ignasi	Póster Pigmentos	329
	Póster Pigmentos	337
R		
REJAS AYUGA, Juan Gregorio	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
RESPALDIZA GALISTEO, Miguel Ángel	Póster Pigmentos	347
RODANÉS VICENTE, José M. ^a	Sesión Biomateriales	5
RODENAS MARTÍN, Isabel	Sesión Lítico, vidrio y hueso	157
RODRÍGUEZ, César	Sesión Arqueoastronomía	271
RODRÍGUEZ BAYONA, Moisés	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207
RODRÍGUEZ CADEROT, Gracia	Sesión Arqueoastronomía	279
ROGERIO-CANDELERIA, Miguel Ángel	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	409
	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	419
ROLDÁN GARCÍA, Clodoaldo	Sesión Cerámicas	103
	Sesión Lítico, vidrio y hueso	157
ROVIRA LLORENS, Salvador	Sesión Metales	193
ROYO PLUMED, Hernando	Sesión Lítico, vidrio y hueso	147
S		
SÁEZ RAMOS, Reinaldo	Sesión Cerámicas	75
	Sesión Metales	207
SAIZ CARRASCO, M. ^a Esperanza	Sesión Cerámicas	37
	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
SALA BARTROLI, Roger	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	221
SALVÀ SIMONET, Bartomeu	Sesión Metales	193
SAN JOSE SANTAMARTA, Sonia	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	221
SANJURJO SÁNCHEZ, Jorge	Sesión Datación	261
SOARES DE FIGUEIREDO, Sofía	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	419
T		
TORRES ABRIL, Francisco	Póster Lítico	369
TUSET BERTRAN, Francisco	Sesión Cerámicas	49
V		
VIDAL LORENZO, Cristina	Sesión Lítico, vidrio y hueso	157
VEGA TORO, Mercedes	Póster Pigmentos	347
Z		
ZANCAJO JIMENO, José Julio	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	231
	Sesión Prospección Geofísica y Teledetección	239
	Póster Prospección Geofísica y Teledetección	403

Índice geográfico y toponímico

pág.

A

Allueva II (Allueva, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37

B

Baetulo (Badalona, Barcelona) _____ Sesión Cerámicas _____ 65

C

Cabezo de la Cruz (Zaragoza) _____ Sesión Biomateriales _____ 5
Can Tacó-Turó d'en Roïna (Barcelona) _____ Póster Pigmentos _____ 329
 Campo de Gibraltar _____ Póster Lítico _____ 369
Cerrá La Viña I (Allueva, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37
 Colegiata de Sta. María (Gandía, Valencia) _____ Sesión Lítico, vidrio y hueso _____ 157
Clunia (Peñalba de Castro, Burgos) _____ Sesión Cerámicas _____ 49
Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Santander) _____ Póster Prosp. Geosfísica y Teledetección _____ 409

E

El Ceremeño (Herrería, Guadalajara) _____ Sesión Arqueoastronomía _____ 271

F

Faia (Guarda, Portugal) _____ Póster Prosp. Geosfísica y Teledetección _____ 419

I

Iesso (Guissona, Lérida) _____ Póster Pigmentos _____ 337
 Islas Canarias _____ Sesión Datación _____ 251
 _____ Póster Biomateriales _____ 297

L

Las Tejadas (Orihuela del Tremedal, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37
Las Veguillas (Camañas, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37
La Pijotilla (Badajoz) _____ Póster Lítico _____ 379
Les Casetes (Villajoyosa, Alicante) _____ Sesión Metales _____ 177
Los Vicarios (Valdecebro, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37
Lavadero-Escobares (Valdecebro, Teruel) _____ Sesión Cerámicas _____ 37
Lesera (La Moleta dels Frares, Forcall - Castellón) _____ Sesión Cerámicas _____ 103
 Lleida (Lleida) _____ Sesión Cerámicas _____ 57

M

Manises (Valencia) _____ Sesión Cerámicas _____ 23
 Mallorca (Islas Baleares) _____ Póster Cerámicas _____ 317
 Menorca (Islas Baleares) _____ Sesión Metales _____ 193
Munoandi (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa) _____ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección _____ 221

P

Pico Centeno (Encinasola, Huelva) _____ Sesión Lítico, vidrio y hueso _____ 135
Pleta de l'Estall Serrer (Valle del Madriu, Andorra) _____ Póster Biomateriales _____ 305

R

Regina Turdulorum (Casas de la Reina, Badajoz) _____ Sesión Lítico, vidrio y hueso _____ 147

S

San Blas (Cheles, Badajoz) _____ Póster Metales _____ 389
Sant Vicenç (Vila Vella de Tossa de Mar, Gerona) _____ Póster Patrimonio _____ 431
Segeda (Mara, Zaragoza) _____ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección _____ 239
 _____ Sesión Arqueoastronomía _____ 287

T

Tejares de Gemuño (Ávila) _____ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección _____ 231

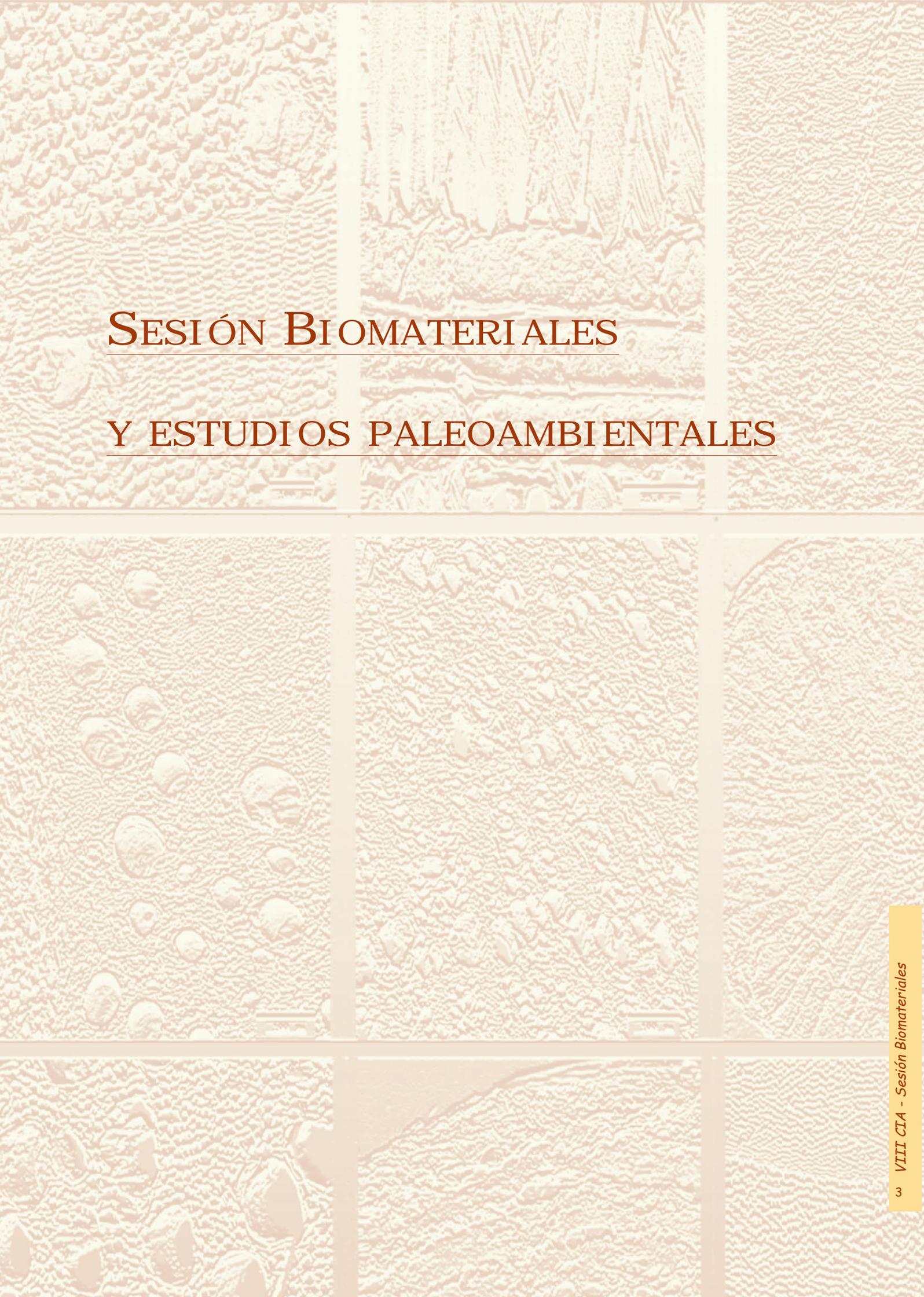
V

Valenciana de la Concepción (Sevilla) _____ Sesión Cerámicas _____ 75
 _____ Sesión Metales _____ 207



COMUNICACIONES



The background of the page is a collage of nine microscopic images. The top row features three panels: the left shows a dense, granular texture; the center shows a layered structure with vertical striations; the right shows a fine, fibrous network. The middle row contains three panels: the left shows a regular array of small, rounded structures; the center shows a similar array with some larger, more complex structures; the right shows a dense, fibrous network. The bottom row also has three panels: the left shows a regular array of larger, rounded structures; the center shows a layered structure with a curved surface; the right shows a dense, fibrous network. The text is overlaid on the top two rows of images.

SESIÓN BIOMATERIALES

Y ESTUDIOS PALEOAMBIENTALES

LOS USOS DE LOS VEGETALES EN EL CABEZO DE LA CRUZ (LA MUELA, ZARAGOZA) DURANTE LA EDAD DEL HIERRO

THE USES OF THE PLANTS AT CABEZO DE LA CRUZ (LA MUELA, ZARAGOZA) DURING THE IRON AGE

Ernestina Badal García (1) / Yolanda Carrión Marco (2) / Jesús Picazo Millán (3) / José M.^a Rodanés Vicente (3)

(1) Departament de Prehistòria i Arqueologia, Universitat de València

(2) Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE), CSIC-UVEG-GV

(3) Universidad de Zaragoza

RESUMEN: En este trabajo se presentan los recursos vegetales utilizados como combustible doméstico y como madera de construcción en los tres poblados de la Edad del Hierro superpuestos en la estratigrafía del Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza).

SUMMARY: In this paper, the wood resources used at the three superimposed Iron Age villages of Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza) are inferred from the analysis of firewood remains and timber.

PALABRAS CLAVE: Edad del Hierro, paleoecología, carbón, madera, dendrología, paleoambiente.

KEY WORDS: Iron Age, palaeoecology, charcoal, wood, dendrology, palaeoenvironment.

I. INTRODUCCIÓN, BIOGEOGRAFÍA Y ARQUEOLOGÍA

El Cabezo de la Cruz (Zaragoza) es un yacimiento arqueológico de gran extensión y complejidad, tanto por la secuencia cultural como por las estructuras arquitectónicas conservadas. Esa complejidad se puede agrupar en tres grandes momentos de ocupación humana: el Epipaleolítico, la Edad del Bronce y la Edad del Hierro (Picazo y Rodanes 2009). En el presente trabajo nos centraremos en la información obtenida a partir del combustible doméstico y de la madera de construcción utilizada durante la Edad del Hierro. Este material procede de la excavación extensiva que se realizó en el yacimiento a lo largo de 2004 bajo la dirección de J. Picazo y J. M.^a Rodanés de la Universidad de Zaragoza. Desde el principio de los trabajos de campo se planteó una intervención integral donde el muestreo sistemático de los restos bióticos formaba parte de los objetivos esenciales para reconstruir el entorno y los modos de vida de los habitantes del Cabezo de la Cruz. Dentro de los materiales orgánicos se encuentra el carbón y la madera, muy abundantes en el yacimiento que fueron

muestreados para su estudio.

La antracología se encarga de la recogida, identificación botánica y conservación de los carbones recuperados en contextos arqueológicos. Dichos restos están en directa relación con las actividades humanas, así la información que proporcionan será de orden etnográfico, botánico y ecológico. Constituyen una importante fuente de información sobre el patrimonio biológico y cultural de la Edad del Hierro en el valle del Ebro. Los objetivos son conocer la flora utilizada por los habitantes de Cabezo de la Cruz, reconstruir el paisaje en la medida de lo posible así como las condiciones bioclimáticas.

El yacimiento se encuentra en el término de la Muela, provincia de Zaragoza, en las coordenadas UTM 30 61186 - 4595551 y a una altitud de 428 metros sobre el nivel del mar. El yacimiento se sitúa en la ladera de un cerro que domina el curso medio del río Huerva, tributario del Ebro. Las condiciones bioclimáticas actuales son de tipo mesomediterráneo, con una temperatura media anual

del orden de unos 15 °C. Como todo el valle del Ebro tiene un clima contrastado con veranos calurosos e inviernos fríos, donde son frecuentes los días con heladas. En cuanto a las precipitaciones son de tipo semiárido ya que no superan los 350 mm de media anual.

El paisaje actual está completamente humanizado y modelado por las actividades agrícolas, hacia el oeste del yacimiento se dan cultivos de secano, esencialmente cereales y algunas zonas de eriales donde crecen matorrales bajos de tomillo con pino carrasco y enebros dispersos. Mientras que hacia el este del yacimiento, el curso constante, aunque de reducido caudal del río Huerva, favorece los cultivos de regadío y una vegetación natural de ribera con taráis, chopos, sauces y otras especies hidrófilas. Así pues, poca superficie mantienen vegetación natural y ésta presenta un aspecto ralo, de carácter estépico, con esparto bastardo (*Lygium spartium*), tomillo, artemisia, etc.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La excavación se realizó en tres áreas del poblado: fuera de las murallas, en la zona defensiva de muralla y en el interior donde estaban las viviendas. Paralelamente al desarrollo de la excavación se fueron muestreando todas las Unidades Estratigráficas con el fin de obtener macrorestos vegetales de todo el poblado y realizar los estudios complementarios de medio ambiente (Picazo y Rodanés 2009). Dentro de esa línea de investigación se encuentra los carbones y maderas del yacimiento. El análisis antracológico de las fases de ocupación de la Edad del Hierro es muy interesante, puesto que es un momento de gran desarrollo del poblado. Los hogares y hornos domésticos producen residuos que se deben limpiar periódicamente, así cenizas, carbones y otros desechos van a parar a fosos o basureros próximos a las casas. Esta acumulación de detritus hace que se sedimenten los carbones procedentes de muchos fuegos domésticos y por tanto se pueda observar la vegetación utilizada a lo largo del tiempo que funciona un basurero y se maten las pautas de recolección de la leña. De la Edad del Hierro se han analizado tres basureros de la fase II (U.E. 1247, 1295 y 1394), uno de la fase III (U.E. 1158)

y dos de la fase IV (U.E. 1067 y 1232). En conjunto se han analizado 1145 fragmentos de carbón procedentes de la leña utilizada para el fuego doméstico. De la madera de construcción se han analizado 119 piezas que corresponden a los troncos y las ramas que formaban parte de las viviendas como vigas, techumbres y otros elementos estructurales y un conjunto de 74 ramitas de pequeño calibre procedente de las techumbres. En el poblado se han conservado restos de madera sin carbonizar, torrefactada y carbonizada. En el conjunto del material se puede distinguir entre:

a) *Madera que procede de una combustión intencionada* por parte de los habitantes del poblado: en esa categoría se incluyen los carbones del combustible domésticos que se sedimentó en hogares, hornos y basureros. Todo está carbonizado, es decir, son las brasas que no terminaron de convertirse en ceniza, en unos casos se encuentran asociadas a la propia estructura de combustión (hogar, horno) y en otro disperso en los sedimentos de los basureros, como consecuencia de la actividad cotidiana de la limpieza e higiene de las casas.

En este trabajo presentaremos los resultados del análisis del carbón muestreado en basureros. Con este conjunto de material se conocer la lista floral utilizada como fuente de energía. A partir de ella se hace inferencias de orden climático, paisajístico y tafonómico. Se intentará dilucidar si el leñateo era una actividad organizada, dirigida y con criterios constantes de selección de la leña para el fuego.

b) *Madera que procede de combustión accidental*: es el caso de los niveles de incendio documentados en el poblado y que por tanto es parte de las estructuras arquitectónicas, como puertas, vigas, postes, techumbre o útiles de madera. En definitiva se trata de restos vegetales asociados a estructuras y por tanto reflejarán la madera seleccionada para la construcción, etc. En este caso hay vigas estructurales que están calcinadas en la parte superior, torrefactada en la parte integrada en el muro y sin carbonizar la parte de la cimentación de los muros. En todo caso la acción del fuego facilitó la conservación al destruir la parte orgánica y dificultar la actuación de hongos, bacterias e

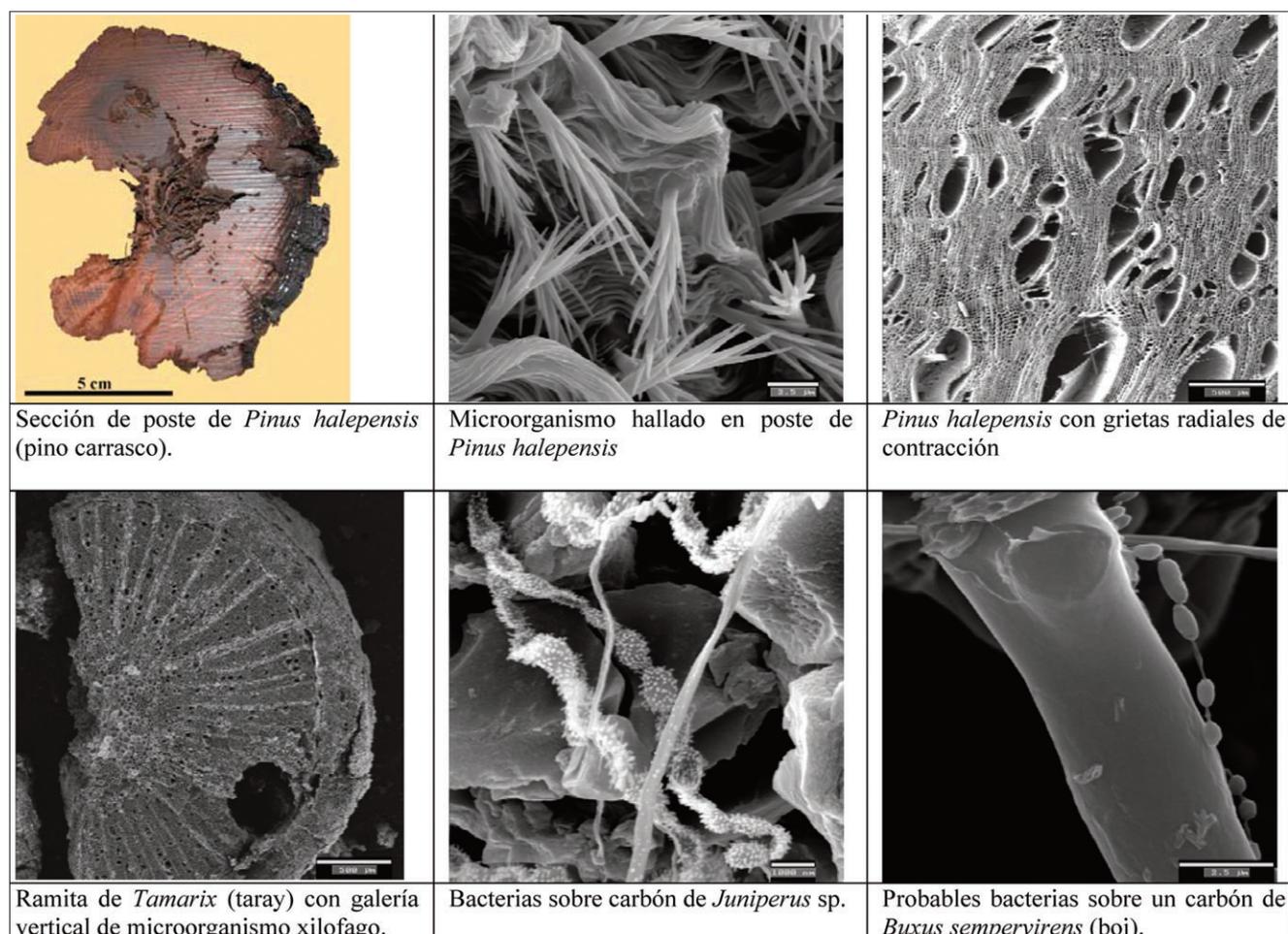


Fig. 1. Biodeterioro de los materiales orgánicos del Cabezo de la Cruz.

insectos xilófagos que desintegran la madera, no obstante, estos organismos también actúan sobre el carbón y son uno de los factores más importantes de pérdida del patrimonio biológico-cultural.

Este material tiene un doble análisis: antracológico y dendrológico. Con el primero se documentará las plantas leñosas que se utilizaron para la construcción en distintos momentos del poblado. Con el análisis dendrológico nos aproximaremos a diversas cuestiones tanto ecológicas como etnológicas, tales como el desarrollo de las formaciones vegetales, la edad y calibre de los individuos utilizados o la manufactura de la madera.

El protocolo de análisis ha seguido varias etapas:

A) Identificación botánica del tejido vegetal; para ello se realizó la observación de los tres planos anatómicos de la madera en un microscopio

óptico de luz reflejada con campo claro - campo oscuro de Nikon modelo Optiphot-100. En ese proceso, 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 (Vernet *et al.* 1979; Bernabeu *et al.* 1999). Los caracteres anatómicos se contrastaron con material fresco carbonizado y con la bibliografía especializada en anatomía vegetal (Jacquot 1955; Jacquot *et al.* 1973; Schweingruber 1990). Este análisis se ha realizado en el laboratorio del departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universitat de València. Este método no contamina los carbones por tanto, después de la identificación botánica se seleccionó el material necesario para realizar las dataciones por el método del radiocarbono que se presentan en la monografía del yacimiento (Picazo y Rodanés 2009).

B) Toma de fotografías y observación de microorganismos 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. Para la observación en el microscopio electrónico de barrido (M.E.B.), el material se fijó con cinta de carbono en el portaobjetos, se metalizó con oro para facilitar la conductividad y se sometió al vacío. El material así tratado no puede ser datado por radiocarbono.

C) Observación dendrológica de la madera a bajos aumentos. Los anillos de crecimiento registran el ritmo de crecimiento de las plantas, por ello, su observación y medición ofrece información sobre cualquier evento humano, climático o mecánico que altere este ritmo de crecimiento (Schweingruber 1996). La medición del crecimiento medio de los árboles es un buen indicador de las condiciones en las que éste creció: así en el seno de una formación densa, el crecimiento anual es menor por la competencia entre los individuos, mientras que en los lindes o claros del bosque, la tasa de crecimiento es mayor. Otras variables anatómicas y biométricas analizadas son, entre otras: la curvatura de los anillos para estimación del calibre mínimo; la estación de tala a partir de la presencia de corteza; las alteraciones de la anatomía o ataque de microorganismos, a partir de los que se pueden inferir ciertas características de la combustión y el estado de degradación de la madera; o las trazas de trabajo humano de la madera (Marguerie y Hunot 2007). Todas las mediciones realizadas en el material del Cabezo de la Cruz se han llevado a cabo en el Laboratoire Archéosciences de la Université de Rennes 1 (Francia).

D) Observación del estado de conservación de los carbones. Éste era correcto y se han podido identificar en un 99% de los restos. No obstante, se han detectado microorganismos que reducen y descomponen la materia orgánica y son los causantes de la pérdida de material biótico en los procesos postdeposicionales de los yacimientos (Figura 1). Animales, bacterias y hongos se entre-

mezclan y actúan en el suelo y en los basureros consumiendo los restos orgánicos, en este caso el carbón prehistórico. La variedad de microorganismos es elevada aunque no todos se pueden identificar pero si han quedado documentados animales, bacterias e hifas fúngicas en los carbones del Cabezo de la Cruz (Figura 1).

III. FLORA DE LA EDAD DEL HIERRO

El termino “flora” en este contexto se refiere a la lista o conjunto de plantas leñosas identificadas en los carbones del Cabezo de la Cruz que son el producto directo de los usos que hicieron los habitantes del poblado de los vegetales leñosos. El conjunto comprende árboles, arbustos y matas, es decir, se usaron plantas de gran porte pero también matas de pequeño calibre. En el Cuadro 1 se puede observar la presencia de los taxones identificados en las tres fases de ocupación de la Edad del Hierro, así como el rango de identificación; el asterisco sólo indica la presencia del taxón en el periodo. De mayor a menor rango se han identificado: 17 familias, 17 géneros y 9 especies vegetales. El rango de identificación específica es el que ofrece mayores precisiones ecológicas pero no siempre se puede alcanzar por la gran semejanza que presenta la anatomía vegetal de las especies de un mismo género.

En la misma tabla se constata la diversidad de plantas utilizadas para el fuego en contraste con la seleccionadas para la construcción de las viviendas, mucho menor, pues solamente se han utilizado 7 plantas. Es evidente una mayor selección de las plantas leñosas empleadas en la construcción y que deben responder a criterios funcionales y estructurales dentro del edificio. Mientras que para el fuego doméstico hay un buen abanico de plantas utilizadas porque toda leña arde, a condición que esté seca. Seguramente, los criterios de selección de la leña buscaran la disponibilidad de plantas en el entorno y la facilidad de su recogida y transporte al poblado. Es evidente, por los materiales arqueológicos que los habitantes del poblado contaban con herramientas eficaces en metal para talar y trabajar la madera, así como de la fuerza animal para el transporte de la materia (Pérez Ripoll y López 2009).

	CABEZO DE LA CRUZ	LEÑA	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
PINAR	<i>Juniperus</i> sp.	*	
	<i>Pinus halepensis</i> Miller	*	*
	<i>Pinus</i> sp.	*	
	<i>Pinus</i> sp. cf. <i>P. pinea</i> - <i>P. halepensis</i>	*	
	<i>Pinus</i> sp. cf. <i>P. pinea</i> - <i>P. pinaster</i>	*	
	Bráctea de piña	*	
	Conífera	*	
CARRASCAL -COSCOJAR	<i>Quercus</i> sp.	*	
	<i>Quercus</i> sp. perennifolio	*	*
	<i>Quercus</i> sp. caducifolio	*	*
SOTOBOSQUE	<i>Arbutus unedo</i> L.	*	
	<i>Buxus sempervirens</i> L.	*	
	<i>Cistus</i> sp.	*	
	<i>Ephedra</i> sp.	*	
	Fabácea	*	*
	Labiada	*	
	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	*	
	<i>Pistacia</i> sp.	*	
	<i>Pistacia terebinthus</i> L.	*	
	<i>Prunus</i> sp.	*	
	RETAMA	<i>Rerama monosperma</i> (L.) Boiss.	*
<i>Rhamnus</i> y/o <i>Phillyrea</i>		*	
<i>Rosacea-Maloidae</i>		*	
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		*	*
RIBERA	<i>Fraxinus</i> sp.	*	*
	<i>Salix</i> y/o <i>Populus</i>	*	
	<i>Tamarix</i> sp.	*	*
	<i>Taxus baccata</i> L.	*	
	<i>Vitis vinifera</i>	*	
	Total familias	17	5
	Total géneros	17	6
	Total especies	9	2
	Total carbones analizados	1094	119

Cuadro 1. Lista de flora leñosa utilizada como leña para el fuego doméstico y como material de construcción en el poblado de la Edad del Hierro del Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza).

Se han identificado tres géneros de coníferas: enebros (*Juniperus* sp.), tejo (*Taxus baccata* L.) y pino (*Pinus*) (Figura 2). En este caso, se ha podido identificar fácilmente la especie de *Pinus halepensis* Miller (pino carrasco). Pero algunos carbones quedaron identificados sólo en el rango genérico (*Pinus* sp.) o si

el plano radial presentaba alguna duda entre especies que no se ha podido resolver se indica (*Pinus* sp. Cf. *P. pinea* – *P. halepensis*; *Pinus* sp. Cf. *P. pinea* – *P. pinaster*).

La anatomía del tejo es genuina por lo que se puede identificar hasta el rango de especie (*Taxus baccata* L.). Tiene una madera homóxila muy similar en el plano transversal a *Juniperus*, pero no ofrece dudas en los planos longitudinal tangencial y radial, ya que los elementos conductores tienen engrosamientos helicoidales. La madera de tejo ha sido muy empleada en la Prehistoria tanto para hacer útiles ya que ofrece gran resistencia y flexibilidad como leña para el fuego (Bosch *et al.* 2000; Carrión 2005; Piqué 2000). En el Cabezo de la Cruz se ha encontrado sólo en un basurero de la fase II, por tanto, sin descartar otros usos, en última estancia se utilizó como leña para el fuego. En el yacimiento ibérico de Cormulló dels Moros (Albocàsser, Castellón) también se hallaron carbones de tejo usados como leña durante el siglo II a. C. (Espí *et al.* 2000).

Del grupo de las angiospermas se han identificado 12 familias representadas por 15 géneros y 7 especies (Cuadro 1). En el género *Quercus* es fácil de discriminar el grupo de los caducifolios (*Quercus* sp. caducifolios) de los de hoja perenne (*Quercus* sp. perennifolios) (Figura 2), ahora bien ha sido imposible saber de qué especie se trataba dentro de cada grupo. Teniendo en cuenta la vegetación actual donde se encuentra el yacimiento, los caducifolios serían *Quercus faginea* (quejigo) u otras especies afines. Mientras que *Quercus* sp. perennifolio serían o la encina y/o la carrasca (*Quercus rotundifolia*, *Quercus ilex*) o/y la coscoja (*Quercus coccifera*).

En algunos casos se ha identificado género y especie: *Arbutus unedo* L. (madroño), *Buxus sempervirens* L. (boj), *Retama monosperma* (L.) Boiss. (retama), *Pistacia lentiscus* L. (lentisco), *Pistacia terebinthus* L. (cornicabra) (Figura 2), *Rosmarinus officinalis* L. (romero) y *Vitis vinifera* L. (vid). De esta última hemos encontrado tanto madera como los pedúnculos de los racimos de los frutos aunque en ninguno de los casos se puede distinguir la vid silvestre de la cultivada; según Pérez (2009) puede tratarse de la variedad cultivada.

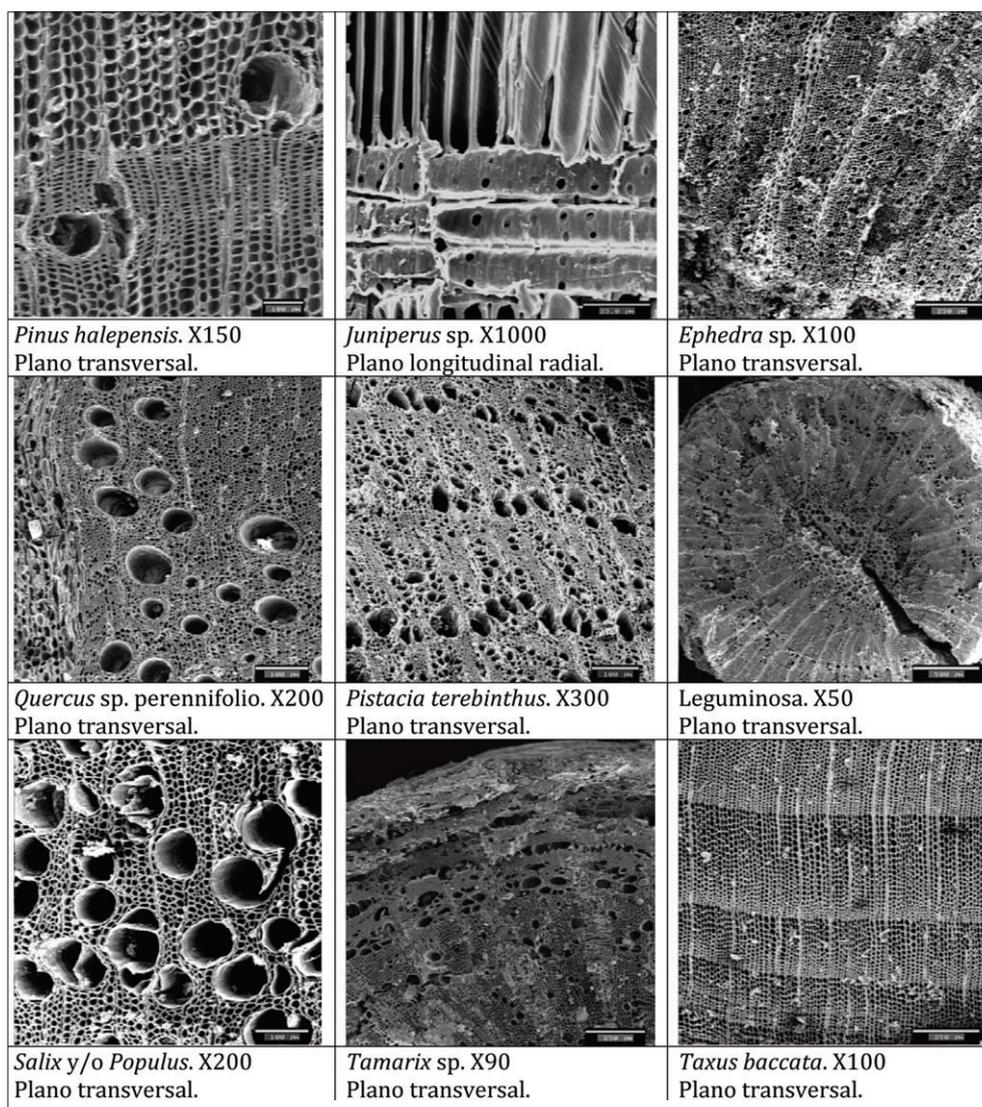


Fig. 2. Microfotografías de plantas leñosas carbonizadas en de eEl Cabezo de la Cruz.

Finalmente, en otros casos sólo se ha identificado el género porque la anatomía de las especies es muy similar, de tal modo que no hay criterios sólidos para distinguir unas de otras: *Cistus* sp. (jaras); *Ephedra* sp. (belcho) (Figura 2), *Fraxinus* sp. (fresno), *Prunus* sp. (frutal) y *Tamarix* sp. (taray) (Figura 2). Algunas plantas tienen una estructura anatómica muy similar a pesar de pertenecer a familias y géneros diferentes, de tal modo que sólo con la estructura anatómica de la madera no se puede individualizar una de otra. Este es el caso de *Rhamnus* (familia Ramnáceas) y de *Phillyrea* (familia Oleáceas), así que algunos carbones han sido catalogados como *Rhamnus* y/o *Phillyrea*, por no tener ningún criterio sólido para saber si se trata de un aladierno o de un labiérnago.

La familia de las salicáceas comprende los géneros *Salix* (sauce) y *Populus* (chopo, álamo), pero estos no se pueden individualizar en base a la estructura anatómica, por tanto, algunos carbones han sido catalogados como *Salix* y/o *Populus* (Figura 2). Esos restos pueden ser de sauce, de chopos o de álamos; o incluso puede que estén los tres árboles representados ya que comparten frecuentemente nicho ecológico, pero no podemos individualizarlos.

Finalmente, algunos carbones se han quedado identificados en el rango de familia, este es el caso de Labiadas o Lamiáceas; dentro de ella se ha podido individualizar los carbones de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) pero además pueden

haber otras plantas representadas como espliego, salvia, tomillo, etc. Lo mismo ocurre con la familia Fabáceas o Leguminosas que comprende muchos géneros dentro de los cuales se ha individualizado carbones de *Retama monosperma* (L.) Boiss. (retama). Por último algunos carbones tienen las características anatómicas de la familia de las Rosáceas pero no se han podido discriminar el género, ni la especie, salvo el caso de *Prunus* sp.

De la observación del Cuadro 1 y de lo anteriormente escrito se puede destacar:

1.- Resalta la biodiversidad que presenta el conjunto, que incluye árboles, arbustos y matas.

2.- Algunos taxa sólo aparecen en una de las fases de ocupación. Así, en la fase II se encuentra el boj, la jara y el tejo que no aparecen en las otras fases del poblado. Mientras que en la fase IV aparecen restos de vid en pequeña proporción que indican probablemente su cultivo (Pérez 2009) pero también su aprovechamiento como leña para el fuego.

3.- Siete plantas tienen un doble uso: como leña para el fuego y como madera de construcción para las viviendas.

4.- Coherencia ecológica de la flora documentada, ya que todas las plantas identificadas pueden vivir juntas porque tienen necesidades ecológicas similares.

5.- Esto prueba la utilización de la vegetación local como fuente de materias primas para la construcción y como combustible doméstico.

IV. EL PAISAJE VEGETAL

Las frecuencias de las plantas identificadas se ha calculado para cada fase del poblado, es decir, en los tres poblados que se sucedieron en la Edad del Hierro. Estos datos se han representado en un diagrama antracológico donde se observa los espectros de plantas identificadas y sus proporciones en las tres fases de la Edad del Hierro (Figura 3). De la fase III disponemos de pocos carbones pero, a pesar de ello, la hemos representado en el diagrama porque sigue las mismas pautas que la más antigua y la más reciente donde hay suficiente carbón para realizar unos cálculos de porcentajes. En todas las unidades estratigráficas los restos más abundantes son los de pino carrasco (*Pinus halepensis*), le siguen los restos de *Quercus* sp. perennifolio y *Pistacia*, mientras que el resto de los taxones tienen frecuencias pequeñas, inferiores al 5% de los carbones identificados.

El valle que domina el Cabezo de la Cruz tendría unos espacios cultivados en la cercanías del río Huerva y un paisaje vegetal en mosaico con formaciones arbóreas presididas por el pino carrasco en unas zonas y carrascas y/o coscojas en otras. Ambas mantendrían un sotobosque diverso en plantas leñosas. A lo largo del cauce del río Huerva estaría la vegetación de ribera más exigente en hu-

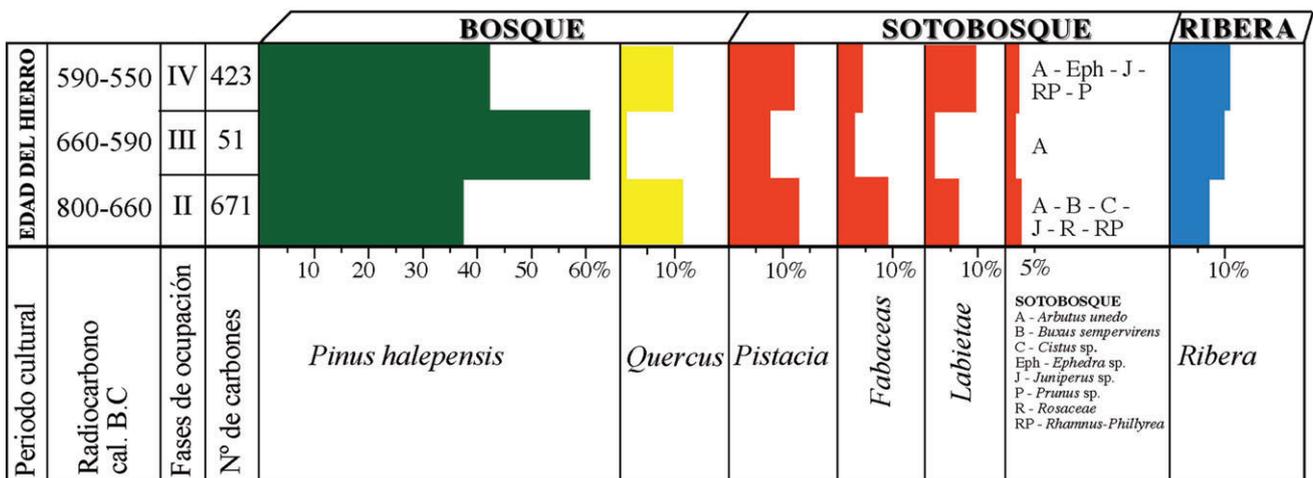


Fig. 3. Diagrama antracológico de las tres fases de ocupación de la Edad del Hierro en el Cabezo de la Cruz.

medad y campos de cultivo habiendo espacios a los largo del valle.

Los habitantes del Cabezo de la Cruz fueron a recoger leña en el territorio más inmediato, donde probablemente crecían diferentes formaciones vegetales, cuya fisionomía es difícil de precisar pero bien podría tratarse de pinares, carrascales-coscojares (*Quercus* sp. perennifolios) y bosques de ribera.

Los pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller) serían los que ocuparían mayores extensiones en el valle por la abundancia de sus restos en todo el poblado. Este bosque tendría un cortejo arbustivo heliófilo compuesto de enebros, belcho o trompetera (*Ephedra* sp.), Fabáceas, Labiadas, entre ellas el romero claramente identificado, aunque pueden haber otros representantes de la familia como espliego, tomillo, lavanda, salvia, etc. Por la abundancia de restos en todas las unidades estratigráficas los pinares y su cortejo parecen haber sido los más utilizados para el leñateo.

Los carbones de carrasca (*Quercus rotundifolia*) no se han podido distinguir de los de coscoja (*Quercus coccifera*) por eso los hemos catalogado como *Quercus* sp. perennifolios. En base a los porcentajes de sus restos carbonizados (del orden del 10%) pensamos que podrían formar parte del cortejo arbustivo de los pinares en el caso de la coscoja, similares a algunas formaciones actuales del valle del Ebro (Costa *et al.* 1997). La carrasca, quizás, se refugiara en las zonas más húmedas del valle formando bosques, aunque, como no hemos podido precisar las especies, nos movemos en hipótesis basadas en sus necesidades ecológicas. En el conjunto de carbones analizados solamente hemos identificado un fragmento de *Quercus* caducifolio (¿quejigo?) debido a las exigencias en humedad de los caducifolios es probable que se localizaran en pequeñas cantidades a lo largo de la ribera o en las zonas de vaguada donde el suelo tiene mayor humedad.

Los arbustos perennifolios pueden tener porte arbóreo y formar bosquetes cerrados y difíciles de penetrar, en su composición entran el madroño (*Arbutus unedo* L.), el lentisco (*Pistacia*

lentiscus L.), la cornicabra (*Pistacia terebinthus* L.), el aladierno y/o labiérnago (*Rhamnus* y/o *Phillyrea*) además de frutales tipo de los *Prunus* y otros géneros de la misma familia de la rosáceas.

Es operativo agrupar los taxones identificados en formaciones vegetales para intentar evaluar el paisaje vegetal del poblado de Cabezo de la Cruz pero no hay que fijar límites rígidos puesto que puede haber pinares con carrascales y coscojas pero también carrascales y/o coscojares con pinos. Por otro lado, la mayoría de los arbustos y matas pueden formar parte del cortejo de los pinos, de las carrascales o generar bosques propios. Es posible que el paisaje vegetal tuviera una estructura de mosaico reflejo de los condicionantes edáficos, térmicos y de humedad de la zona.

La vegetación de ribera es la formación vegetal menos utilizada como combustible doméstico ya que son pocos los carbones de plantas de ribera. No obstante, se han identificado carbones de fresno (*Fraxinus* sp.), sauce o/y chopo (*Salix* y/o *Populus*) y taray (*Tamarix* sp.). La presencia de los tarayales indica suelos con cierto grado de salinidad, esta formación puede ocupar ramblas y ríos, siendo la disponibilidad hídrica condicionante de la fisionomía de los tarayales que cuando es óptima pueden alcanzar hasta los 8 metros de altura y ser potencialmente útiles para madera de construcción como veremos más adelante. Hemos incluido en la ribera al tejo y a la vid por sus exigencias en humedad edáfica aunque el primero podría estar en umbrías húmedas y la segunda en campos de cultivo.

En el diagrama antracológico (Figura 3) no se observan grandes cambios en la composición vegetal entre las tres fases de ocupación del poblado, lo que puede indicar que las formaciones vegetales (pinares - carrascales - coscojares - ribera) se mantienen estables en el territorio de leñateo porque no se observa un aumento de los matorrales como consecuencia de la reducción de las formaciones arbóreas. Los dominios del pino carrasco parecen ser los más amplios o en todo caso el árbol más utilizado para la obtención de leña mientras que las carrascales o coscojas son utilizados en menor proporción, tal vez porque sean más esca-

sos en el entorno o estén protegidos para otros usos (pastoreo, recolección de bellotas, taninos, hongos, etc.) Del orden del 40% de los restos carbonizados proceden de plantas del sotobosque pero algunas de estas plantas pueden alcanzar gran porte y formar bosquetes cerrados y de considerable altura, así madroño (*Arbutus unedo* L.), enebro (*Juniperus* sp.), cornicabra (*Pistacia terebinthus* L.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), boj (*Buxus sempervirens* L.), aladierno-aladierna (*Rhamnus-Phillyrea*) y otras de menor tamaño como trompetera (*Ephedra* sp.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) o las labiadas.

Desde el punto de vista climático, casi todas las plantas identificadas en el carbón, en la actualidad, viven en los pisos bioclimáticos termomediterráneo y mesomediterráneo, es decir tienen una tolerancia térmica entre los 13 y los 18 °C. de temperatura media anual. Sólo el boj y el tejo no descienden al piso termomediterráneo, en base a ellos se puede precisar unas condiciones térmicas entre 13 y 17 °C de media anual en el Cabezo de la Cruz durante la Edad del Hierro

En cuanto a la humedad todas toleran la sequía estival, genuina del clima mediterráneo y las lluvias de otoño-invierno. La mayoría de ellas puede crecer desde obrocimas semiáridos (200-350 mm de lluvia media anual) hasta subhúmedos (600 – 1000 mm de lluvia media anual). No obstante pensamos que en Cabezo de la Cruz las precipitaciones serían de tipo seco (350-600 mm de lluvia media anual) porque de ser subhúmedo ha-

bría más cantidad de caducifolios y otros taxa hidrófilos (quejigos, arces, tilos, fresnos, tejos, avellanos, etc.) como pasa en otras zonas más húmedas (Piqué y Ros 2002; Ros 1999). El ritmo de lluvias de tipo seco (350 – 600 mm de lluvia anual) podría generar buenos bosques de pino carrasco con todos los demás taxa identificados, además, ese ritmo de lluvia y esa cantidad facilita la práctica de la agricultura mediterránea del cereal de secano. Además, en los carbones analizados no se ha identificado *Pinus nigra* (pino salgareño) de ecología mucho más fría que los taxa identificados y de mayor necesidad hídrica que el pino carrasco (Figura 4). Esta ausencia puede corroborar la interpretación térmica y de humedad para la Edad del Hierro en el Cabezo de la Cruz.

Así pues, las condiciones ambientales del poblado de la Edad del Hierro serían, en cuanto a temperaturas similares a las actuales en la zona (mesomediterráneo) y en humedad puede que algo más húmedo (seco: 350-600 mm de media anual). Los resultados del estudio de isótopos estables de carbono en dos especies mediterráneas paradigmáticas y con respuesta diferencial ante la sequía (*Pinus halepensis* y *Quercus*) apuntan a un régimen pluviométrico algo diferente a la actualidad. Según esta analítica, las precipitaciones estarían más repartidas a lo largo del año, siendo el periodo de otoño-invierno mucho más lluvioso que en la actualidad, y sensiblemente menor en periodo primaveral. Según esta analítica, los valores absolutos de precipitación anual también serían algo más elevados, en torno a los 600 mm. (Espinar y Voltas 2009).

Es probable que la gestión del entorno fuera estable a lo largo de todas las fases de ocupación porque no se observan variaciones ni en la composición floral ni en las proporciones de los taxones a lo largo de las diferentes fases, lo que puede indicar unas áreas bien definidas y estables para cada actividad productiva: campos, pastos y bosques. Los bosques no parecen haber sufrido unas prácticas de talas abusivas porque no se ven formaciones vegetales secundarias. Por otro lado, los pinares de carrasco indican que sería la formación climática de la zona desde el inicio de la ocupación humana del valle del río Huerva o al menos tiene un desarrollo independiente de la actividad humana.

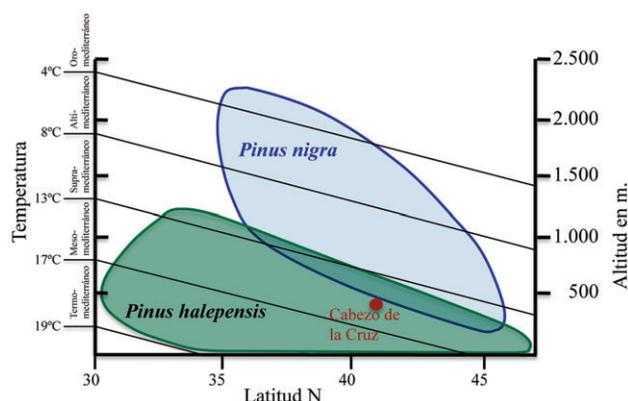


Fig. 4. Distribución actual de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y pino salgareño (*Pinus nigra*) en relación a la altitud y latitud. Se indica la posición biogeográfica del Cabezo de la Cruz.

V. LA MADERA DE CONSTRUCCIÓN

La madera de construcción no se suele conservar en la mayor parte de yacimientos, si no se produce un incendio que preserve las estructuras ya que, de otro modo, éstas se encuentran sometidas a los procesos naturales de biodegradación. El Cabezo de la Cruz constituye un documento extraordinario, ya que el incendio acaecido en el poblado ha preservado un valioso conjunto de materiales orgánicos. La combustión *in situ* de las estructuras arquitectónicas en madera representa un testimonio efectivo de la tecnología, aprovechamiento y utilización de los recursos vegetales durante la Edad del Hierro. Se han estudiado 119 muestras de madera y carbón pertenecientes a elementos constructivos de gran calibre (troncos y ramas gruesas), y 74 ramitas de pequeño calibre; en todas ellas se ha llevado a cabo la observación de las variables descritas en el apartado de *Materiales y Métodos* y que se resumen en el Cuadro 2.

A diferencia de la leña recogida como combustible, para la construcción no se utilizaron todas las especies disponibles en el medio, sino aquéllas cuyas cualidades físicas y mecánicas resultaban más idóneas para el fin al que eran destinadas. Se han documentado básicamente dos tipos de soportes: por un lado, troncos o ramas de cali-

bre grande o mediano (a falta de corteza en la mayor parte de casos, no se puede estimar el diámetro completo, pero abundan piezas tipo poste de entre 10-20 cm. de calibre mínimo); por otro lado, se han recuperado varios conjuntos de ramitas de pequeño calibre, asociadas a estratos de derrumbe, que posiblemente formarían parte del entramado vegetal de las techumbres.

El pino carrasco es la especie más utilizada para el primer tipo de soporte, ampliamente explotado en función de su abundancia y disponibilidad en el medio, así como de la escasez de otras especies de porte arbóreo. Entre las ramitas del techo, destaca la abundancia de especies de ripisilva (*Salix* y/o *Populus*, *Tamarix*), ya que estas especies producen ramas jóvenes muy flexibles, que resultan muy adecuadas para realizar entramados.

El alto índice de fragmentación de la mayor parte de las maderas impide reconstruir la forma o el calibre original de la pieza; sólo algunas de ellas, que presentan trazas de trabajo, nos permiten una aproximación a su forma original. Las piezas más numerosas son aquéllas de forma escuadrada (Figura 5), con una o varias superficies lisas, entre ellas una puerta confeccionada a partir de varias tablas de pino. Se ha documentado una preferencia por los cortes en sentido anatómico longitudinal

Troncos											
Taxón	Total individuos	Curvatura			Carbonización		Alteraciones de la madera				
		Fuerte	Interm.	Débil	Total	Parcial	Vitrificado	Grietas rad.	Hongos	Insectos	Trabajada
<i>Pinus halepensis</i>	109	86	14	9	92	17	65	34	65	31	14
<i>Quercus caducifolio</i>	2	2			2		1	2	1		
<i>Quercus perennifolio</i>	3	3			2	1		1	2		3
<i>Salix-Populus</i>	3	2	1		3			1	2		2
<i>Tamarix</i> sp.	2	1		1	2		1	1	1		1

Ramitas								
Taxón	Total individuos	Diámetro medio (mm.)	Corteza		Alteraciones de la madera			
			M. final	M. inicial	Vitrificado/grietas	Hongos	Insectos	
Fabaceae	3	3,5	1	2	2	3	1	
<i>Pinus halepensis</i>	7	16,57	3	4	1	5	2	
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1	7	1	0	1		1	
<i>Salix-Populus</i>	40	4,85	31	9	15	2	3	
<i>Tamarix</i> sp.	23	3,69	8	15	1	1		

Cuadro 2. Madera de construcción identificada en Cabezo de la Cruz.

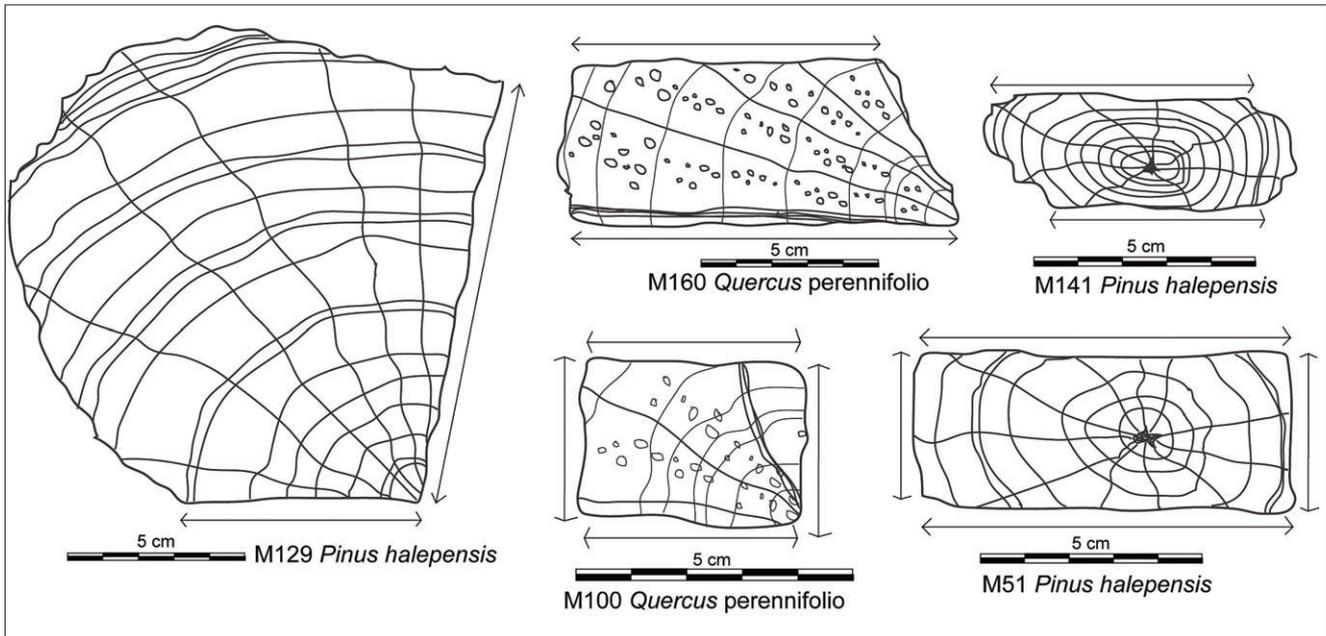


Fig. 5. Maderas de construcción escuadradas.

tangencial o entre tangencial y radial, lo que da una mayor resistencia a la pieza, ya que la madera no tiene tendencia natural a fracturar en esta dirección. En general, la madera ha sido trabajada utilizando la parte central de los troncos, siendo la médula visible en la sección de todas las piezas. Este patrón se pudo seguir para obtener la parte más resistente de la madera, ya que el duramen es mucho más denso que la albura.

También se recuperaron varios postes adosados a la pared de las viviendas, con la base apuntada en forma de bisel. En el interior de algunos de los agujeros de poste se han documentado diversas piezas de madera en forma de cuña, cuya función parece ser la de asentar el poste.

Es bastante frecuente que sólo el perímetro externo del poste, es decir, la parte expuesta a la intemperie, aparezca carbonizada, mientras que la parte protegida por la pared se conservaba en forma de madera fresca, lo que ha incitado el ataque de los microorganismos xilófagos (Figura 1). El material de construcción del Cabezo de la Cruz aparece contaminado por hongos en un 60% de las muestras y por insectos xilófagos en un 25% (Carrión 2009). Es cierto que algunas de las maderas pudieron recolectarse del árbol ya contaminadas, si la degradación de éstas no era muy visible, pero

en su mayor parte, se debió de seleccionar madera sana y la contaminación debió de producirse mientras éstas formaran parte de la estructura de las casas, o durante algún periodo de almacenamiento antes de su utilización.

En cuanto a las ramitas de pequeño calibre, éstas procedían íntegramente de los niveles de derrumbe de la Fase III. La mayoría conservaban el diámetro completo, es decir, desde la médula a la corteza, ambas incluidas. Esto constituye una fuente de información muy interesante acerca de la selección del calibre y de la estación de tala.

Predomina el diámetro entre 3 y 5 mm, con excepción de las ramitas de pino, que alcanzan diámetros de hasta 16,5 mm; es posible que esto se deba a un reaprovechamiento de las ramas salientes de los troncos de pino utilizados para la elaboración de elementos de mayor tamaño, mientras que el resto de especies fueran recolectadas expresamente para este fin. *Salix* y/o *Populus* y *Tamarix* son taxones que producen ramas jóvenes muy flexibles y resistentes, sobre todo las de muy corta edad. La mayor parte de las ramas utilizadas tienen una edad de 1 a 3 años; en muchos casos de ramas las de taray están cortadas en la madera inicial del primer año.

La presencia de corteza en gran parte de los fragmentos ha permitido estimar la estación de tala de las ramitas (Figura 1). El anillo más externo del tronco, que está en contacto con la corteza, es el último que ha formado la planta antes de ser cortada, y puede situarse en el leño temprano o tardío, correspondientes respectivamente a la estación favorable o desfavorable para el crecimiento. Parece que una gran parte de las ramitas de *Salix* y/o *Populus* fueron recolectadas en su época desfavorable para el crecimiento, mientras que las de taray se recolectaron preferentemente en su época de máximo crecimiento (Cuadro 2). La recolección de madera en diferentes épocas del año puede ser un indicador de la realización de reparaciones de las techumbres en diversas estaciones de año o de una duración prolongada de estas tareas a lo largo de varios meses.

La medición de los anillos de crecimiento de los pinos del Cabezo de la Cruz muestra que el rango de las medias de crecimiento anual es muy amplio, desde 0,25 hasta 3 mm., e incluso algunos individuos alcanzan 5 mm., heterogeneidad que se muestra bien en el histograma de distribución de los valores de crecimiento (Figura 6). Esta tenden-

cia puede ser indicio de la existencia de zonas claras en el seno de las formaciones, tal vez conformando un paisaje heterogéneo “en mosaico” donde alternan campos, pastos y zonas boscosas de aprovechamiento forestal (Carrión 2007).

VI. DISCUSIÓN

La imagen de los vegetales obtenida por el análisis de la madera se complementa con los datos obtenidos en el polen y las semillas del mismo yacimiento. Los tres tipos de materiales aportan datos para conocer los recursos vegetales disponibles en el territorio de explotación del Cabezo de la Cruz. Evidentemente, las semillas representan mayoritariamente la agricultura practicada mientras que el polen da una imagen regional de la vegetación. Los tres tipos de restos presentan concordancias y discordancia pero cada uno aporta su granito de arena a reconstruir el paisaje vegetal del valle del río Huerva a su paso por el Cabezo de la Cruz.

La información palinológica es reducida debido a la mala conservación de los palinomorfos en la estratigrafía del cerro. No obstante, Se ha obte-

Nº individuos

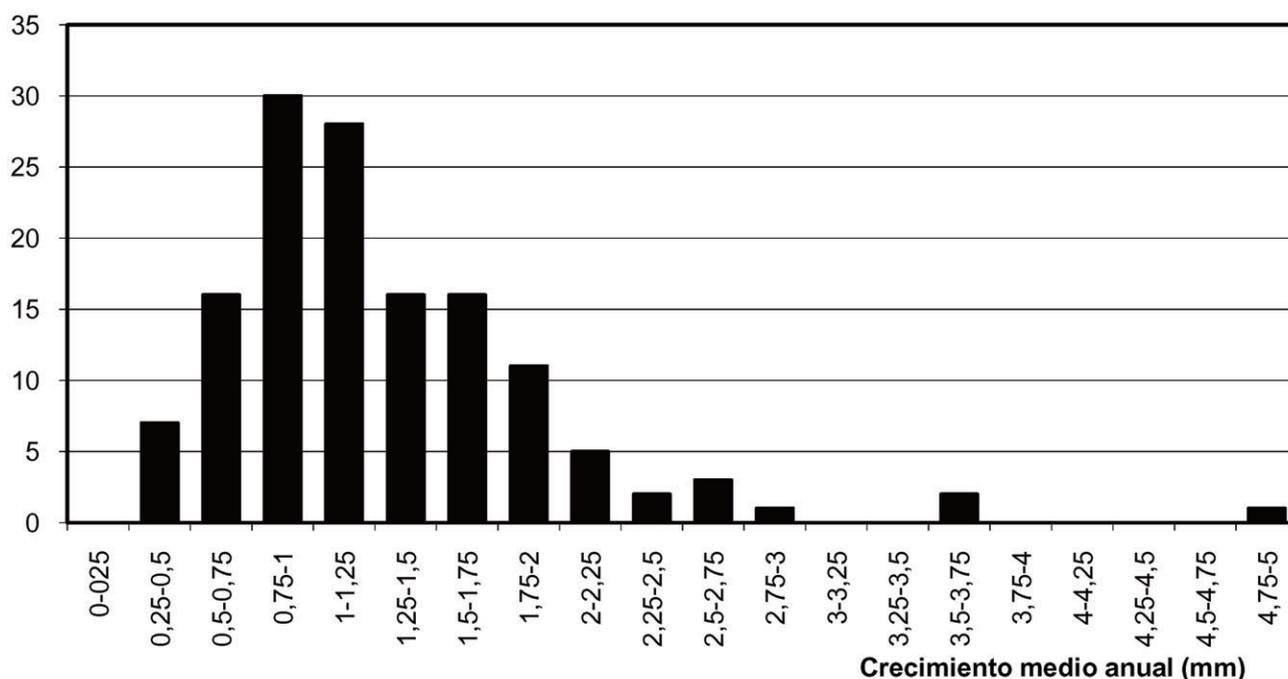


Fig. 6. Distribución de los valores de crecimiento medio anual de los anillos de pino carrasco (*Pinus halepensis*).

nido una muestra de la base de la secuencia de la Edad del Hierro y tres de la segunda fase constructiva del poblado (575-520 a. C) que son significativas. En ellas la cubierta forestal está dominada por *Pinus sylvestris* (tipo) y se detecta la presencia de *Pinus pinaster* (tipo) (Iriarte 2009). Polen y carbón muestran concordancia en cuanto a el dominio del territorio por los pinos pero hay una clara diferencia en la identificación de la especie. En el carbón todos los fragmentos identificados, sin problemas, hasta el rango de especie eran *Pinus halepensis* y en contados fragmentos se duda de la especie y así se ha significado. Los pinos de montaña mediterránea como *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* viven donde las temperatura media anual pueden estar entre 13 y 4 °C.; aunque en algunos casos pueden penetrar tímidamente a zonas con mayor temperatura. Pensamos pues que los pinares del valle del río Huerva serían de pino carrasco (*Pinus halepensis*) que formaría la vegetación natural de amplias zonas del valle del Ebro y sus tributarios (Badal 2004; Pérez *et al.* 2008) sin tener relación su expansión con las actividades humanas, sería pues la vegetación natural y climática en esta zona del valle del Ebro. El análisis polínico detecta pinos de montaña (Iriarte 2009) que podrían llegar al poblado desde enclaves de mayor altitud con condiciones más frías. El análisis polínico ofrece una visión regional de la vegetación por tanto amplía la visión local que da el carbón, evidentemente los agentes de acumulación de polen (naturales) y de carbón (humanos) en el yacimiento son distintos y complementarios.

Sí son concordantes los datos polen-carbón sobre *Quercus*, en ambos casos los perennifolios son más abundantes que los caducifolios, lo que indica un ritmo de precipitaciones de tipo seco. Puesto que si fuera mayor el grado de humedad (subhúmedo) crecerían sin dificultad los *Quercus* tanto perennifolios como los caducifolios como pasa en otras regiones vecinas (Ros 1999; Piqué y Ros 2002). Los fragmentos de *Quercus* identificados en las semillas tampoco precisan la especie (Pérez 2009). También hay concordancia polen-carbón en la identificación de algunos taxones del matorral de tendencia xérica como *Ephedra*, Fabáceas, Labiadas. A los que habrá que añadir los identificados en carbón y semillas como *Pistacia*,

Rosmarinus/Cistus y *Retama* (Badal 2009; Pérez 2009). En general, toda la flora identificada en los tres tipos de restos vegetales (madera, polen, semillas) concuerda con formaciones de pinares termófilos con sotobosques de arbustos leñosos genuinos de la vegetación mediterránea.

VII. CONCLUSIÓN

Los restos bióticos son patrimonio cultural y biológico porque informan de la biodiversidad de los territorios y de los usos que realizan los humanos de los recursos vegetales. En el análisis de las plantas leñosas del Cabezo de la Cruz podemos sacar las siguientes conclusiones medioambientales:

1. Resalta la biodiversidad de plantas leñosas que presenta el conjunto. En la fase de ocupación II se encuentra el boj, la jara y el tejo que no aparecen en las otras fases del poblado. Recordar que los carbones reflejan la flora local, es decir, del territorio de captación de recursos de los habitantes del Cabezo de la Cruz.

2. En la fase IV, los restos de vid carbonizada indican su aprovechamiento como leña para el fuego, por tanto un uso de los subproductos del cultivo de frutales como es la vid (Pérez 2009).

3. Siete plantas tienen un doble uso: como leña para el fuego y como madera de construcción para las viviendas.

4. La flora documentada en La Edad del Hierro es bastante constante en el tiempo y en el espacio del poblado. En el espacio porque prácticamente todos los basureros reflejan la misma composición floral y en el tiempo porque no hay diferencias significativas entre la fase más antigua (Fase II) y la fase más reciente (fase IV) de la Edad del Hierro (Figura 3).

5. Esa estabilidad en las tres fases de ocupación puede indicar unas condiciones medioambientales constantes en el entorno del poblado y una gestión del territorio sostenible: campos, pastos y bosques se mantendrían estables.

6. Los pinares de pino carrasco serían la ve-

getación natural y climática de amplias zonas del valle del Ebro.

7. En base a las tolerancia térmica de la flora leñosa identificada es probable que la temperaturas media anual estuviera comprendida entre 13 y 17 °C durante la Edad del Hierro en el Cabezo de la Cruz.

8. Con la misma argumentación postulamos un régimen de precipitaciones de tipo seco (350-600 mm de lluvia media anual) ya que si fuera mayor habría más taxa caducifolios o claramente hidrófilos.

De la madera de construcción se puede concluir:

1. Las necesidades de madera para la construcción se cubren con plantas locales, pero no se utiliza todo el elenco de especies disponibles en el paisaje, sino aquéllas más apropiadas: se seleccionó básicamente el pino carrasco para la elaboración de los elementos de mayor tamaño y ramitas de diversas especies de ripisilva para el entramado de las techumbres.

2. Entre las maderas trabajadas se han iden-

tificado postes redondos y escuadrados, con bases apuntadas y numerosas tablas; los rellenos y techumbres debieron realizarse con ramas de pequeño calibre, posiblemente trenzadas entre sí y/o unidas por barro. La sujeción de piezas se realizaba mediante cuñas, halladas frecuentemente dentro de los agujeros de poste con este fin.

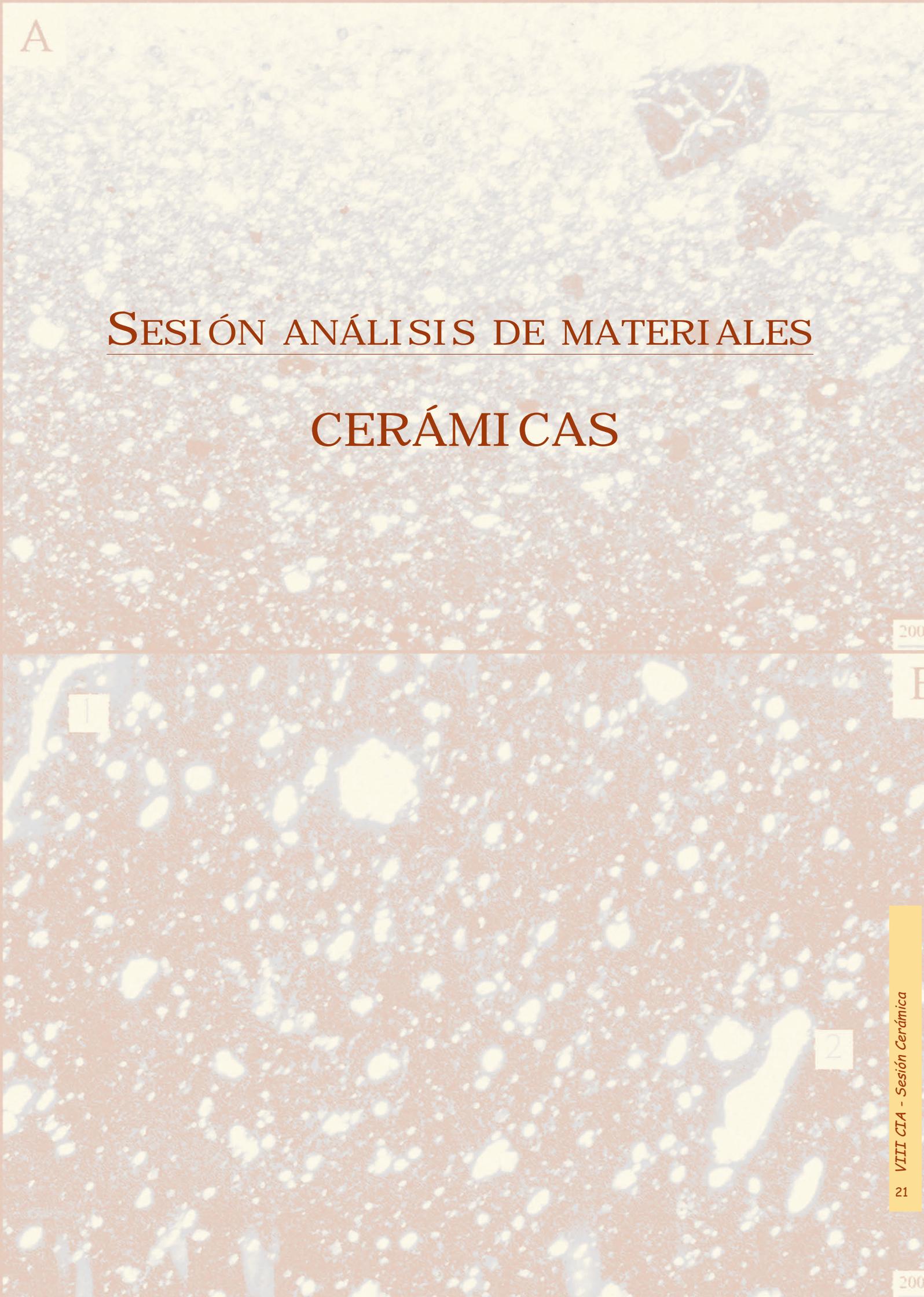
3. El material aparece en diferente estado de conservación, unas piezas completa o parcialmente carbonizadas y otras sin carbonizar, parece que en función de su localización dentro de la estructura constructiva en el momento del incendio.

4.-Se observa en este material un índice de ataque de hongos e insectos xilófagos, probablemente debido a su prolongada permanencia a la intemperie o en contacto con la humedad del suelo y las paredes de adobe, aunque tampoco hay que descartar que este material hubiera sufrido un periodo más o menos largo de almacenamiento.

5. La medición de las anchuras medias de los anillos muestra que el rango de los valores de crecimiento de los individuos es muy amplio, lo que puede ser indicio de la existencia de una cobertura vegetal heterogénea, con la apertura de zonas claras en el seno de las formaciones (Carrión 2009).

BIBLIOGRAFÍA

- BADAL, E. 2004: "Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de Los Baños (Ariño, Teruel)". En P. Utrilla y J. M.ª Rodanés: *Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de los Baños (Ariño, Teruel)*. Monografías 39. Universidad de Zaragoza: 63-73.
- BADAL, E. 2009: "El combustible y el paisaje vegetal". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 132-155.
- BERNABEU, J.; PÉREZ, M. y MARTÍNEZ, R. 1999: *Huesos, neolitización y contextos arqueológicos aparentes. Actes del II Congrés del Neolític a la Península Ibérica. Saguntum-PLAV*, Extra-2: 589-596.
- BOSCH, A.; CHINCHILLA, J. y TARRÚS, J. 2000: "Els objectes sobre matèries vegetals". En Bosch *et al.* (coords.): *El poblat lacustre neolític de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998*. Museu d'Arqueologia de Catalunya-Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya: 228-254.
- CARRIÓN, Y. 2005: "La vegetación mediterránea y Atlántica de la península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas". *Trabajos Varios del S.I.P.* 104: 314p.
- CARRIÓN, Y. 2007: "Woodland in the middle Ebro valley (Spain). Dendrological analyses of archaeological timber from Bell Baker and Iron Age periods". *Archéosciences* 31: 151-162.
- CARRIÓN, Y. 2009: "La construcción en madera". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 156-169.
- COSTA, M.; MORLA, C. y SAINZ, H. (eds.) 1997: *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta: 572 pp.
- ESPÍ, I.; IBORRA, M.ª P. y DE HARO, S. 2000: "El área de almacenaje del poblado iberorromano del Cormulló dels Moros (Albocàsser-Castelló)". En C. Mata y G. Pérez (eds.): *IBERS. Agricultors, artesans i comerciants. Saguntum PLAV*. Extra-3: 149-154.
- ESPINAR, C. y VOLTAS, J. 2009: "El marco paleoclimático. Aproximación a partir del análisis de isótopos estables en carbones de especies forestales". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 100-107.
- IRIARTE, M.ª J. 2009: "Los inicios del Holoceno reciente en el valle del río Huerva: la secuencia palinológica proto-histórica del Cabezo de la Cruz". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 108-131.
- JACQUIOT, C. 1955: *Atlas d'Anatomie des Bois de Conifères*. Cent. Techn. Bois, Paris: 133 p.
- JACQUIOT, C.; TRENARD, Y. y HIDROL., D. 1973: *Atlas d'anatomie des bois des angiospermes (Essences feuillues)*. Cent. Techn. Bois, Paris: 175p.
- MARGUERIE, D. y HUNOT J.-Y. 2007: "Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in western France". *Journal of Archaeological Sciences* 34: 1417-1433.
- PÉREZ, G. 2009: "Estudio paleocarpológico". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 170-187.
- PÉREZ RIPOLL, M. y LÓPEZ, M.ª D. 2009: "Análisis de los restos faunísticos". En J. Picazo y J. M.ª Rodanés: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón: 188-218.
- PIQUÉ, R. 2000: "Les dades antracològiques". En Bosch *et al.* (Coords.): *El poblat lacustre neolític de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998*. Museu d'Arqueologia de Catalunya-Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya: 50-53.
- PICAZO, J. y RODANÉS, J. M.ª 2009: *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro. Cabezo de la Cruz. La Muela, Zaragoza*. Gobierno de Aragón.
- PIQUÉ, R. y ROS, M.ª T. 2002: "La gestió dels recursos llenyosos entre els segles VI-II a. C.". En E. Pons (dir.): *Mas Castellar de Pontós (Alt Empordà). Un complex arqueològic d'època ibèrica (excavacions 1990-1998)*, Sèrie Monogràfica 21. Girona: 429-442.
- ROS, M.ª T. 1999: "El Carbons vegetals". En A. Martí *et al.* (dirs.): *Excavacions Arqueològiques a l'illa d'en Reixac (1987-1992)*. Monografies d'Ullastret 1: 261-267.
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1990: *Anatomie europäischer Hölzer. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum - Strauch- und Zwergstrauchhölzer*. Haupt, Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1996: *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Berne, Paul Haupt Publishers.
- VERNET, J. L.; BAZILE-ROBERT, E. y EVIN, J. 1979: "Coordination des analyses anthracologiques et des datations absolues sur charbons des bois". *Bull. Soc. préhist. Fr.* 76: 76-79.



A

SESIÓN ANÁLISIS DE MATERIALES

CERÁMICAS

20

E

1

2

CONTRIBUCIÓN AL ANÁLISIS POR RBS DE LA EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LA LOZA DORADA DE MANISES (VALENCIA) ENTRE LOS SIGLOS XIV-XVIII

RBS CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF THE MICROSTRUCTURE EVOLUTION OF LUSTER PRODUCED IN MANISES (VALENCE) IN THE XIV-XVIII CENTURIES

Angel Polvorinos del Río (1) / Marc Auconturier (2) / Anne Bouquillon (2) / Jacques Castaing (2) / Josep Perez Camps (3)

(1) Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla

(2) C2RMF, CNRS UMR 171

(3) Museo de la Cerámica de Manises

RESUMEN: En este trabajo se estudia un conjunto de 33 fragmentos cerámicos de loza dorada, pertenecientes al Museo de Cerámica de Manises representativos de la producción de lustres entre los siglos XIV y XVIII; de estos objetos recuperados en diversas intervenciones arqueológicas locales, se analizan las microestructuras de los vidriados y lustres, lo que constituye una secuencia temporal única de referencia para el análisis tecnológico de la producción manisera. Se han analizado los vidriados por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDAX), y las decoraciones de lustre interior y exterior de cada fragmento por técnicas no-destructivas de análisis de haces de iones, PIXE y RBS así como por microscopía electrónica de alta resolución. Los resultados se comparan con otras producciones coetáneas, y se analizan los patrones de la evolución temporal de las microestructuras y composición de los vidriados y lustres. Se confirma que el uso de estaño como opacificante desaparece de los vidriados a comienzos del siglo XVII y es muy bajo su uso posterior si se compara con la producciones anteriores y que la microestructura de los lustres cambia alrededor de 1500.

SUMMARY: A set of 33 fragments of luster decorated ceramics uncovered during archaeological works in Manises (Valence, Spain) produced from the XIV to the XVIII century have been studied. These ceramics have been produced in Manises. This well dated set of ceramic shards represents the diversity of Manises luster production and is a whole time sequence of reference for the technological analysis. Texture analysis of glaze have been carried out by SEM-EDAX, the inner and outer surfaces of luster decorations analysis with non-destructive ion beam glaze analysis PIXE and RBS, and also by high resolution electronic microscopy. Results are compared with other luster productions and the time trend of microstructures and glaze and luster composition are analyzed. It is concluded the use of Sn as opacifier until the beginning of XVII century and changes in the luster microstructure around 1500 A.D.

PALABRAS CLAVE: Manises, Valence, luster, glazes, PIXE, RBS.

KEY WORDS: Manises, Valence, luster, glazes, PIXE, RBS.

I. INTRODUCCIÓN

La loza dorada es un tipo de cerámica de prestigio caracterizada por el aspecto metálico brillante e iridiscente de la decoración, llamado lustre, que destaca sobre un vidriado blanco. En esquema la realización de estas cerámicas supone un proceso complejo de elaboración en el que están implicadas tres fases de cocción, dos de ellas en condiciones oxidantes y una última en reducción; partiendo del modelado y cocción de las piezas realizadas en arcillas calcáreas con bajos contenidos en hierro, la segunda cocción se realiza para consolidar el vidriado aplicado a la pieza co-

cida; en el último paso del proceso, sobre el vidriado se decora con la pasta de lustre y se realiza la cocción reductora para obtener el lustre de la pieza. Este último paso es fundamental para lograr la inclusión en el vidriado de una capa delgada de nanopartículas de cobre y/o plata (Kingery y Vandiver 1986; Perez-Arantegui *et al.* 2001) que le confiere su calidad a la pieza; para obtener el efecto de lustre la cocción reductora ha de realizarse a bajas temperaturas, entre 550-600°C tras la aplicación de un pigmento con Cu/Ag (Molera *et al.* 2001; Chabanne *et al.* 2007 y 2008). Durante esta cocción reductora se induce la difusión de iones de cobre y plata en el vidriado, y la precipi-

Muestra	Fecha	Objeto	Espesor Pasta (mm)	Poros.pasta	Espesor vidriado (μm)	Diámt. Burb. (μm)	Máx. In-clus. (μm)		Alteración.	SnO ₂
M1	1300-1350	Cuenco	4	S	160	140	80	Subang.		Y
M2	1300-1350	Cuenco	4.5	S	170	120	80	Subang.		Y
M3	1375-1410	Cuenco	5	S	140	40	80	Ang		Y
M4	1375-1410	Plato	5.5	M	160	140	50	Ang		Y
M5	1375-1410	Plato	5.5	M	60	40	10	Ang		Y
M6	1375-1410	Plato	6	M	140	40	10	Prism.		Y
M7	1470-1500	Plato	11	S	100	-	20	Subang.		Y
M8	1480-1510	Cuenco	8.5	S	120	-	100	Subang.	Glob	Y
M9	1470-1500	Cuenco	8	M	130	-	80	Subang.	Glob	Y
M10	1470-1500	Cuenco	9.5	S	60	-	40	Subang.	Glob	Y
M11	1470-1500	Cuenco	10	S	80	-				Y
M12	1470-1500	Cuenco	10	M	150	20	40	Subang.		Y
M13	1440-1475	Plato	7.5	M	60	-	20	Ang		Y
M14	1470-1500	Plato	9.5	S	150	-	20	Prism.		Y
M15	1460-1490	Plato	8	M-A	130	20	20	Subang.	Glob	Y
M16	1490-1550	Jarra	9	M-A	220	70	50	Subang.		Y
M17	1590-1650	Cuenco	11	S						
M18	1550-1610	Cuenco	9	M-A	120	-	20	Subang.	Glob	Y
M19	1550-1610	Cuenco	9	M-A	120	-	70	Subang.	Glob	Y
M20	1550-1610	Cuenco	7	M-A						
M21	1650-1690	Plato	9.5	S	100	-	30	Prism.		N
M22	1680-1750	Plato	7	S	220	100	150	Subang.		N
M23	1680-1750	Plato	8.5	M-A	175	-		-		N
M24	1680-1750	Cuenco	4.5	S	70	-		-		N
M25	1730-1790	Plato	12.5	M	130	-	150	Subang.		Y
M26	1730-1790	Plato	8.5	S	260	70	100	Subang.		Y
M27	1730-1790	Plato	16	M	240	120	100	Subang.		N
M28	1450-2007	Plato	11	M-A	110	80	-50	Subang.		Y
M31	1410-1440	Cuenco	9.5	S	100	-	20	Subang.		Y
M32	1430-1470	Plato	13	S						
M33	1450-1475	Plato	8	M-A	80	-	20	Subang.		Y
M34	1500-1525	Cuenco	7	M-A	120	-	20	Subang.		Y
M35	1525-1575	Cuenco	10	M-A	90	-	20	Subang.		Y

Tabla 1. Parámetros descriptivos de los objetos estudiados. Fecha de producción, tipo de objeto, espesor y porosidad de la pasta cerámica, espesor del vidriado, diámetro máximo de burbujas, de las inclusiones cristalinas, forma de las inclusiones, alteraciones del vidriado y presencia de SnO₂.

tación de nanopartículas de cobre y plata cerca de la superficie externa del vidriado (Padovani *et al.* 2006; Roque *et al.* 2006).

La tecnología de producción de este tipo de cerámicas, se inició en el contexto del mundo islámico entre los siglos VIII y IX (Mason and Tite



Fig. 1. Aspecto superficial de las caras interior y exterior de tres lozas doradas de Manises.

1997), siendo difundida esta compleja tecnología durante la Edad Media a Egipto, el Norte de África y España, llegando posteriormente durante el Renacimiento a Italia. En este contexto global, Manises es considerado uno de los principales centros de producción de loza dorada a partir del siglo XIV, cuya actividad se mantuvo de forma continuada hasta el siglo XVIII. Diversos estudios históricos (Nicolau 1987 y López 1985) atestiguan que al comienzo del siglo XIV la producción de “opus Maleche”, es decir similar a la producida en Málaga, y “opus terre daurati... cum safra”, o loza dorada ... con decoración azul, ya está referida en contratos, lo que indica una actividad cerámica consolidada en estas fechas. En los cuatro siglos de actividad son numerosas las referencias documentales (Nicolau 1987) que permiten conocer distintos aspectos de la organización social y económica de la limitada población implicada en Manises en la elaboración y comercialización tanto en España como en el extranjero de este tipo especial de cerámica.

A pesar de la importancia económica y del nivel de prestigio internacional alcanzado por los ceramistas de Manises son aún escasos y fragmentarios los datos analíticos disponibles en la literatura sobre esta producción de loza dorada.

Con los objetivos de construir un amplio marco analítico de referencia, de contribuir a mejorar el conocimiento de aspectos tecnológicos re-

levantes para la realización de este tipo complejo de cerámicas, así como para identificar la evolución temporal de los métodos utilizados, en este trabajo se aborda el estudio por diferentes técnicas analíticas de una secuencia temporal representativa de la extensa producción de loza dorada de Manises.

II. MUESTRAS Y METODOLOGÍA

Este estudio integra diferentes análisis de los vidriados y lustres de 33 muestras de loza dorada seleccionadas y bien caracterizadas por su aspecto morfológico y cronológico producidas en Manises (Valencia) entre los siglos XIV y XVIII. Los parámetros descriptivos de los objetos (etiquetados M) e incluyen la fecha de producción, el tipo de objeto, el espesor y la porosidad de la pasta cerámica, el espesor del vidriado, el diámetro máximo de burbujas y de las inclusiones cristalinas, la forma de las inclusiones, la presencia de alteraciones del vidriado y la presencia de SnO₂ (Tabla 1).

Las tipologías de los objetos corresponden a 16 cuencos, 16 a platos y una jarra. El aspecto superficial de las caras interior y exterior de fragmentos típicos se presentan en la Figura 1.

Los análisis de lustre y vidriados blancos de cada muestra se han realizado por emisión de rayos X inducido por partículas (PIXE), retrodis-

persión de Rutherford (RBS), microscopía electrónica de barrido (SEM) y de alta resolución. Las condiciones analíticas por PIXE y RBS han sido descritas en otros artículos (Polvorinos del Rio *et al.* 2006; Hélarly *et al.* 2005; Padeletti *et al.* 2006; Chabanne *et al.* 2008) y se realizaron con el acelerador AGLAE 2 MV del Museo del Louvre. Los análisis PIXE se realizaron con protones a 3 MeV los de RBS con partículas α ($^4\text{He}^{2+}$) también a 3 MeV; los haces de iones se extraen a la atmósfera a través de una ventana fina, manteniendo un flujo de helio en los recorridos de los haces de partículas y de rayos X para minimizar la pérdida de energía.

La composición química determinada por PIXE asume que el material analizado es homogéneo, y se han utilizado métodos convencionales para la determinación de óxidos mayoritarios (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5) y elementos traza (Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr, Nb).

La estructura de los lustres se ha determinado como una superposición de capas de espesor y composición en plata y cobre variables utilizando el programa SIMNRA durante la modelización de los espectros RBS.

La observación de la nanoestructura de algunos lustres se ha realizado por microscopía electrónica de alta resolución utilizando un equipo Hitachi S5200 en secciones transversales de algunas de las muestras.

La microestructura de los vidriados y el análisis elemental de las inclusiones se han realizado por microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un equipo JEOL JSM 6400 que incorpora un sistema de análisis por dispersión de energías de rayos X (EDAX); las medidas se realizaron directamente en las muestras y en algunas de ellas pequeñas submuestras fueron embebidas en resina epoxy y pulidas perpendicularmente a la superficie del vidriado para la observación de las diferentes capas.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Composición y estructura de los vidriados blancos

El vidriado blanco tiene una doble función, nivelar las irregularidades de la superficie de la

pasta cerámica y proveer un soporte blanco y opaco para la decoración de lustre. Sin embargo en la realización de un vidriado están implicados un conjunto de prácticas y conocimientos tecnológicos que van desde la elección y selección de los materiales, a su aplicación y cocción para obtener cerámicas vidriadas con la calidad requerida. Aspectos tales como la calidad del cuarzo como constituyente formador del vidriado (grado de pureza de las arenas utilizadas), las características específicas del fundente utilizado, la aplicación de opacificantes, etc. confieren a cada vidriado unas características que nos ayudan a comprender la evolución de las recetas utilizadas, la datación de piezas o eventualmente la identificación de los centros productores.

Los parámetros descriptores de la estructura de los vidriados blancos determinados por SEM se indican en la Tabla 1; las secciones transversales de los vidriados varían entre 60 y 260 μm , observándose que a partir del siglo XVII las capas tienden a ser más espesas; en esta misma fecha, alrededor de 1600, también se detecta la ausencia de óxido de estaño, utilizado como opacificador, en los vidriados (tabla 1); esta relación inversa entre el espesor de los vidriados y la presencia de óxido de estaño en los vidriados, evidencia un cambio significativo en la tecnología de producción de la loza dorada de Manises y se justifica por la necesidad de ocultar la coloración crema de la pasta cerámica subyacente para compensar la ausencia de opacificante.

La aparición de burbujas en el vidriado se debe a la descomposición y reacción de carbonatos (Tite *et al.* 1998) y depende de parámetros como la temperatura, el tiempo de cocción de las pastas y/o del propio vidriado, el tipo de cocción o del modo de aplicación del vidriado. En la producción de Manises la ausencia de burbujas en el vidriado es relativamente frecuente; solo 8 cerámicas de las 33 estudiadas tienen burbujas cuyo diámetro es superior a 70 μm . Las mayores burbujas aparecen en las muestras más antiguas (M1, M2, M4) con tamaños que llegan a ser próximos al espesor del vidriado; a partir de 1600 se producen vidriados sin burbujas (M21, M23, M24, M25), así como vidriados espesos cuyas burbujas superan 70 μm de diámetro (M22, M26, M27).

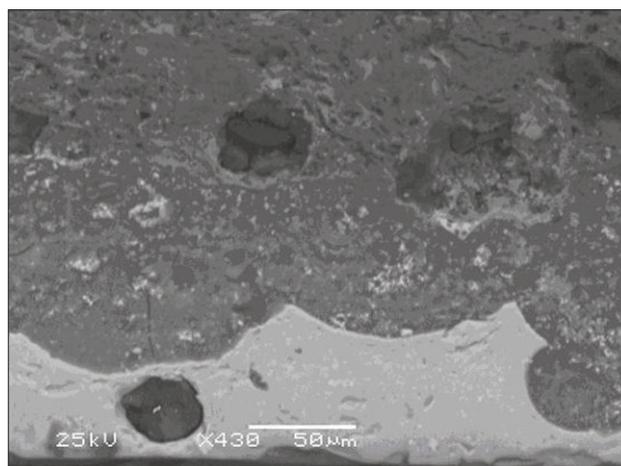
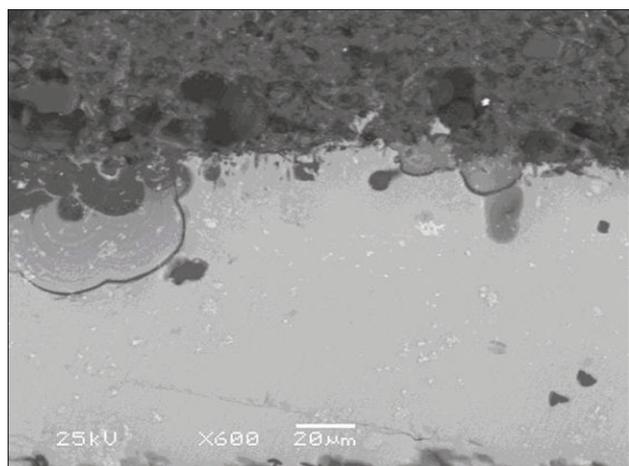


Fig. 2. Imágenes retrodispersadas SEM de las muestras M19 (izquierda) y M15 (derecha). El vidriado sin alterar es la capa inferior de color gris claro y las texturas globulares de procesos de alteración con pérdida de Pb en gris mas oscuro. Notar la ausencia de capa de reacción en la interfase entre las pastas cerámicas y los vidriados.

La aparición de inclusiones cristalinas en los vidriados en general depende del grado de maduración del vidriado (Tite *et al.* 1998), y en los de Manises se identifica la presencia de cuarzo y feldespato potásico. Estas inclusiones son de tamaño y aspecto variables (Tabla 1); el aspecto subanguloso es el más frecuente, si bien hay muestras con inclusiones angulares (M3, M4, M5 y M13) y prismáticas (M6, M14, M21), siendo de resaltar la acumulación de cristales prismáticos de tamaño inferior a $10\ \mu\text{m}$ en la muestra M6 lo que le confiere un patrón característico.

La inclusión de pequeños aglomerados y de cristales dispersos de casiterita se observa en todas las muestras producidas antes del siglo XVII; a partir de esta fecha no se utiliza estaño como opacificante del vidriado, o al menos se detecta una reducción muy significativa (Tabla 1); estos resultados deducidos de las observaciones de las imágenes de electrones retrodispersados coinciden con las bajas concentraciones de SnO_2 medidas por PIXE en las muestras posteriores a 1600 (ver más adelante); este cambio en el uso de estaño está justificado por las dificultades de abastecimiento de un metal estratégico que era necesario importar en un periodo de intensos conflictos (Sanchez 1989; Nicolau 1987).

Entre la superficie irregular de la pasta cerámica y el vidriado no se observa interfase de reacción; solo las cerámicas más antiguas M1 y M2,

producidas entre 1300 y 1350 d. C. presentan una delgada capa de reacción de menos de $5\ \mu\text{m}$ de espesor; de la ausencia de dicha interfase de reacción se infiere la doble cocción, de la pasta cerámica y del vidriado; esta práctica es la misma que se observa en general en la mayoría de la producciones de lustre islámico.

Las texturas globulares de alteración de los vidriados se evidencian en las imágenes de electrones retrodispersados de las muestras M15 y M19 (Figura 2), observándose que con distintos niveles de intensidad, hay una pérdida progresiva de Pb desde la interfase con la pasta cerámica.

Los análisis PIXE se realizaron directamente en los vidriados de las caras interior y exterior de cada fragmento. Los rangos de composición química, sus concentraciones promedio y desviaciones típicas se indican en la Tabla 2, e incluye además los resultados medidos por PIXE de la composición de los vidriados de cerámicas de lustre producidas en Sevilla durante el siglo XVI (Polvorinos *et al.*), los de los platos del siglo XV-XVI del "Musée du Moyen-Âge" en París (Chabanne *et al.* 2007 y 2008) y los obtenidos por XRF de cerámicas de lustre de Patena de los siglos XIV - XV (Molera *et al.* 1997).

Los componentes principales de los vidriados son SiO_2 , PbO y K_2O , tratándose por tanto de vidriados plumbo-alcálicos. La identificación de

	Manises Media $\pm \sigma$	Manises Mínimo	Manises Máximo	Sevilla Media $\pm \sigma$	Museo du Moyen-âge	Paterna Valencia
Na ₂ O	0.50 \pm 0.24	0.14	1.32	0.87 \pm 0.44	0.9 \pm 0.3	0.62 \pm 0.11
MgO	0.39 \pm 0.14	0.11	0.69	0.49 \pm 0.19	0.1	0.16 \pm 0.01
Al ₂ O ₃	2.55 \pm 0.77	1.35	4.31	2.5 \pm 0.42	1.6 \pm 0.5	2.77 \pm 0.18
SiO ₂	49.9 \pm 5.63	38.86	61.83	49 \pm 4.1	48.5 \pm 7.4	51.85 \pm 2.04
K ₂ O	5.51 \pm 1.39	2.81	8.36	4.1 \pm 1.05	4.8 \pm 1	6.49 \pm 0.97
CaO	2.26 \pm 1.09	0.81	6.25	2.8 \pm 0.87	2 \pm 0.8	2.33 \pm 0.26
MnO ₂	0.01 \pm 0.007	0.000	0.028	0.03 \pm 0.004	0.01	
Fe ₂ O ₃	0.33 \pm 0.098	0.169	0.59	0.52 \pm 0.07	0.18 \pm 0.04	0.29 \pm 0.16
CoO	0.004 \pm 0.004	0.000	0.039	0.004 \pm 0.002	0.005	
NiO	0.01 \pm 0.004	0.003	0.038	0.013 \pm 0.002	0.01	
CuO	0.06 \pm 0.03	0.017	0.178	0.1 \pm 0.05	0.08	
SnO ₂	5.22 \pm 3.10	0.000	11.9	8 \pm 1.26	4.7 \pm 1.6	5 – 8
PbO	32.27 \pm 6.09	17.82	44.0	33.5 \pm 3.6	36.4 \pm 6.6	33.8 \pm 0.79

Tabla 2. Composición media, desviación estandar (σ), máximo y mínimo de vidriados de Manises correspondiente a la media de 3 a 5 puntos medidos por PIXE en cada muestra. Las concentraciones en % en peso de los óxidos. Se incluyen también la composición media y σ medidos por PIXE de los vidriados de cerámicas de lustre producidas en Sevilla durante el siglo XVI (Polvorinos y col. en prensa), los de los platos del siglo XV-XVI del “Musée du Moyen-Âge” en Paris (Chabanne *et al.* 2007, 2008) y los obtenidos por XRF de cerámicas de lustre del Testar del Moli de Patena de los siglos XIV-XV (Molera *et al.* 1997).

concentraciones extremas de PbO, K₂O y SnO₂ de algunas muestras y la evidencia de alteraciones de los vidriados han permitido la exclusión en los análisis sucesivos.

Los bajos contenidos y dispersiones de Al₂O₃, Fe₂O₃ y MnO (Tabla 2) indican la utilización de arenas bastante puras con muy bajos contenidos en fases distintas al cuarzo, y de una limpieza constante en todo el periodo de producción; el mantenimiento de la buena calidad de las arenas es comprensible dado su suministro local y el sistema centralizado de aprovisionamiento de materias primas en la organización del trabajo de los ceramistas de Manises (Nicolau 1987).

Las fusión de dicha arena con una mezcla de plomo y sales alcalinas ricas en K₂O constituye la base de las fritas; si bien no existe evidencia documental del uso de fuentes específicas de álcalis, la producción de cenizas de plantas tales como la barrilla, que acumulan sales sódico-potásicas, han constituido un recurso muy importante durante siglos en áreas próximas; la adición de carbonato potásico extraído de la purificación de las cenizas de

platas adaptadas a medios salinos es plausible si consideramos además la relación comercial intensa de los productores de cerámicas y la intensa producción y comercio textil de Valencia en este periodo (Nicolau 1987 y López 1985). Es bien conocida la utilización de dichos compuestos en la producción de alumbre, producto imprescindible en el proceso de tinción textil.

La evidencia de adición de K₂O a los vidriados se puede deducir de los bajos contenidos en Al₂O₃; la presencia de pequeñas cantidades de feldespato-K en las arenas solo justifica un escaso porcentaje del total de potasio presente si consideramos la relación Al₂O₃/K₂O próxima a 1.1 en dicha fase mineral; substrayendo del potasio total del vidriado el debido al feldespato-K las concentraciones en K₂O del fundente alcanza hasta el 6% lo que evidencia la adición intencional de este componente. El origen salino de este fundente puede además justificarse por la relación lineal que presentan con el Na₂O.

La relación inversa lineal de los fundentes plomo y potasio (Figura 3) es similar a la obser-

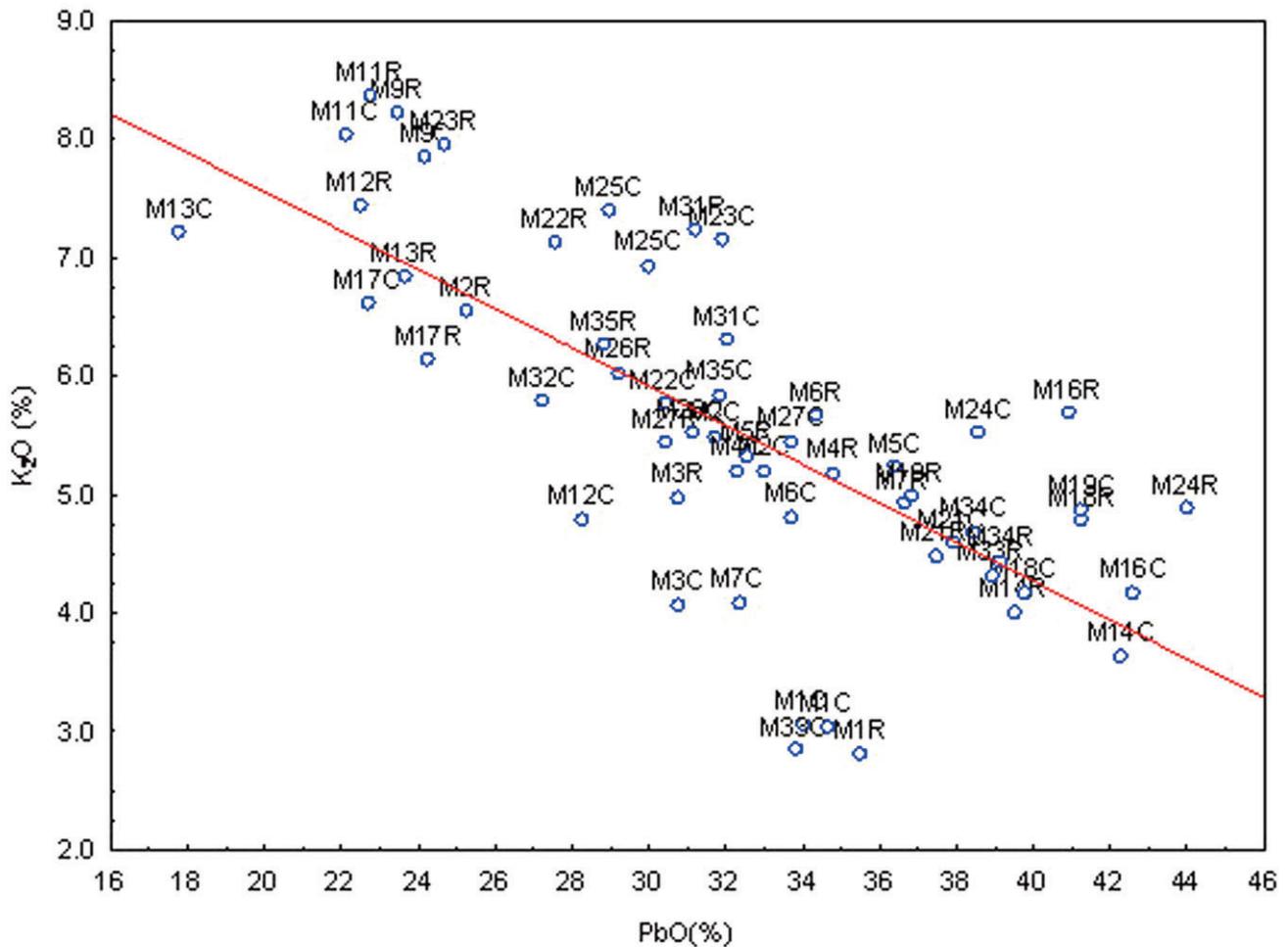


Fig. 3. Concentraciones de plomo frente a potasio en el vidrio de las cerámicas de Manises en las caras interna (MxxC) y externa (MxxR).

vada en las cerámicas con lustre de Sevilla (Polvorinos *et al.* en prensa) y sugiere que los ceramistas de Manises aplicasen recetas controladas para producir el vidriado a temperaturas suficientemente bajas optimizando las cantidades de plomo y potasio a utilizar. No se ha detectado tendencias temporales significativas en las concentraciones en plomo de los vidriados, lo cual sugiere que la disponibilidad de este recurso no impuso limitaciones a la calidad del vidriado requerido.

Los contenidos en CaO, MgO y Fe₂O₃ están fuertemente correlacionados entre sí, no observándose relación alguna con los demás constituyentes del vidriado lo que sugiere su presencia en fases carbonatadas minoritarias.

Respecto al contenido en SnO₂, no se observan diferencias en las composiciones medidas en

las caras interna y externa de los vidriados, y muestra una tendencia general a reducir su concentración con el tiempo (Figura 4); entre 1300 y 1375 d. C. se observa una reducción a la mitad de la concentración de SnO₂, de un 12% a un 6%; entre 1430 y 1590 hay una tendencia lenta pero continua en la reducción, y a partir de 1600 se deja de añadir Sn al vidriado; de nuevo a partir del siglo XVIII se vuelve a utilizar SnO₂ en cantidades inferiores al 4%.

Es interesante resaltar que mientras el estaño de los vidriados decrece y cae a valores muy bajos alrededor de 1600, el de plomo se mantiene en valores altos (25 a 44 % PbO) hasta el final de la producción en el siglo XVIII.

La inestabilidad en el suministro de estaño alrededor de 1600 está ampliamente documen-

Objetos	Capa sup. (nm)	Gradiente			Capa principal			Gradiente		
		(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)	(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)	(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)
M1- (1300-1350)										
M1-dorado-int					71	1	2			
M1-dorado-ext					71	0	2			
M2- (1300-1350)										
M2-dorado-int					85	0	1	114	0	1
M2-rojo-ext					284	5	1	142	3	0
CL2120 (end 14th cent.)										
CL2120 marrón					107	05-ene	10-mar			
CL2120 marrón on azul					100	3	08-ene			
CL2120 claro					35-43	05-oct	10	0-128	0-0.5	0-2
M4- (1375-1410)										
M4-int					28	10	5	156	3	0,9
M4-ext		28	2	2	156	5	0,3			
M5- (1375-1410)										
M5-int					14 - 142	35 - 12	13-mar	284	03-feb	0,5-0,2
M5-ext					284	3	0			
M6- (1375-1410)										
M6-int					142	02-ene	01-mar			
CL2119 (end 14th cent.)										
CL2119 claro					43-284	02-abr	2-6,5	0-85	0-2	
M31- (1410-1440)										
M31-int					284	5	0			
M31-ext					242	4	1			
M32- (1430-1470)										
M32-int					213	2	0,5	213	1	0
CL2777 (middle-15th cent.)										
CL2777 claro					77-100	1,5-8	2,7-4,5			
CL2777 oscuro					64-100	oct-16	5-6,2			
M13- (1440-1475)										
M13-int	0				142 - 213	08-abr	02-ene	142	2	0
M33- (1450-1475)										
M33-int	14				128	0	3			
M15- (1460-1490)										
M15-int					28 - 312	20-abr	05-feb	426	3	0,5
M7- (1470-1500)										
M7-int					14	40	20	142	5	2
M7-ext					99	2	3			
M9- (1470-1500)										
M9-int					14 - 142	07-jul	20-feb	284	3	1
M10- (1470-1500)										
M10-int					114	15	0	355	6	0
M11- (1470-1500)										
M11-int					213	2	1,5			
M11-int					28	3	10	185	3	1
M12- (1470-1500)										
M12-int		28	0	0,5	71	10	2	142	5	0,3
M14- (1470-1500)										
M14-int					142	8	3			
M14-ext					142	12	5			
CL2241 (end 15th cent.)										
CL2241 claro		300	-	1,1	90	5	11	160		02-may
CL2241 oscuro		110	5	2	60	22	16	160	05-dic	02-may
CL1686 (end 15th cent.)										
CL1686 amarillo					71-156	04-sep	02-nov			
CL1686 amarillo en azul					128	2	02-jul			
CL1686 rojo					71	oct-13	05-jul			
M8- (1480-1510)										
M8-int					28 - 213	10-jul	12-feb	142	3	1

Tabla 3. Resumen de las simulaciones de los espectros RBS de todas las muestras. Se incluyen los resultados de los objetos del Museo Cluny (Chabanne *et al.* 2007 and 2008) referenciados como "CLxxxx".

Objetos	Capa sup. (nm)	Gradiente			Capa principal			Gradiente		
		(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)	(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)	(nm)	Cu (at.%)	Ag (at.%)
M34- (1500-1525)										
M34-int					14	0	20	43	0	3
M16- (1490-1550)										
M16-int					114	6	4	57	5	3
M16-ext					14	25	10	27	5	2
CL9622 (1st ¼ 16th cent.)										
CL 9622 rojo-marrón	150				57-80	20-25	ago-14			
M35- (1525-1575)										
M35-int	71				128	8	2	182	3	0
CL9617 (half 16th cent.)										
CL9617 rojo-marrón	60-64				64-100	20-27	07-ago	0-50	0-9	0-0.9
M18- (1550-1610)										
M18-int					170	5	2	454	2	1-0
M18-ext					170	1	0,5			
M19- (1550-1610)										
M19-int					85	6	1,7	85	0	1
M19-ext					85	6	1,7	85	2	1
M20- (1550-1610)										
M20-int					142	8	2			
M20-ext					142	8	2	185	4	0
M17- (1590-1650)										
M17-int-					43 - 114	10-ago	0 - 1,7	142	3	0,4
M21- (1650-1690)										
M21-int	99				170	10	0	284	4	0
M22- (1680-1750)										
M22-int-	43				199	10	1	284	04-feb	0
M23- (1680-1750)										
M23-int					28	20	0	185	8	2
M24- (1680-1750)										
M24-int					170	15	1	142	3	0,5
M24-ext					170	8	1			
M25- (1730-1790)										
M25-int-					199	10	0	284	04-feb	0
M26- (1730-1790)										
M26-int-	57				114	20	0	284	08-abr	0
M27- (1730-1790)										
M27-int					213	8	1	426	2	1-0
M27-ext					213	8	1,5	213	2	1
CL1985 (17-18th cent.?)										
CL1985 marrón	24-28				78-85	25-42	04-jul			
CL9623 (18th cent.)										
CL9623 cobrizo					71	oct-40	03-sep	114	1-4.5	1-1.5
CL9596 (18th cent.)										
CL9596 cobrizo	14-21	21-28	0-25	08-oct	85-114	25-42	08-oct	185-710	03-oct	01-may
M28- (1450-2007)										
M28-int	43				142	3,5	0			

Tabla 3. Resumen de las simulaciones de los espectros RBS de todas las muestras. Se incluyen los resultados de los objetos del Museo Cluny (Chabanne *et al.* 2007 and 2008) referenciados como "CLxxxx".

tado (Nicolau 1987); la reducida producción local (Sanchez 1989) y las dificultades en las importaciones de este metal en una época de conflictos son las causas mas probables del cambio tecnológico apuntado; también se ha sugerido, que además del argumento económico este cambio en la formulación del vidriado podría deberse a razones estéticas, que podrían estar relacionadas con el cambio en el color de los lustres.

Composición y estructura de lustres

El procedimiento de análisis no destructivo RBS da información sobre la distribución las partículas metálicas Cu y /o Ag bajo la superficie del lustre. La presencia de capas de Cu y Ag se manifiesta en la aparición de dos picos en el espectro RBS del lustre (Figura 5) (Polvorinos del Río *et al.* 2006; Hélyary *et al.* 2005; Padeletti *et al.* 2006; Cha-

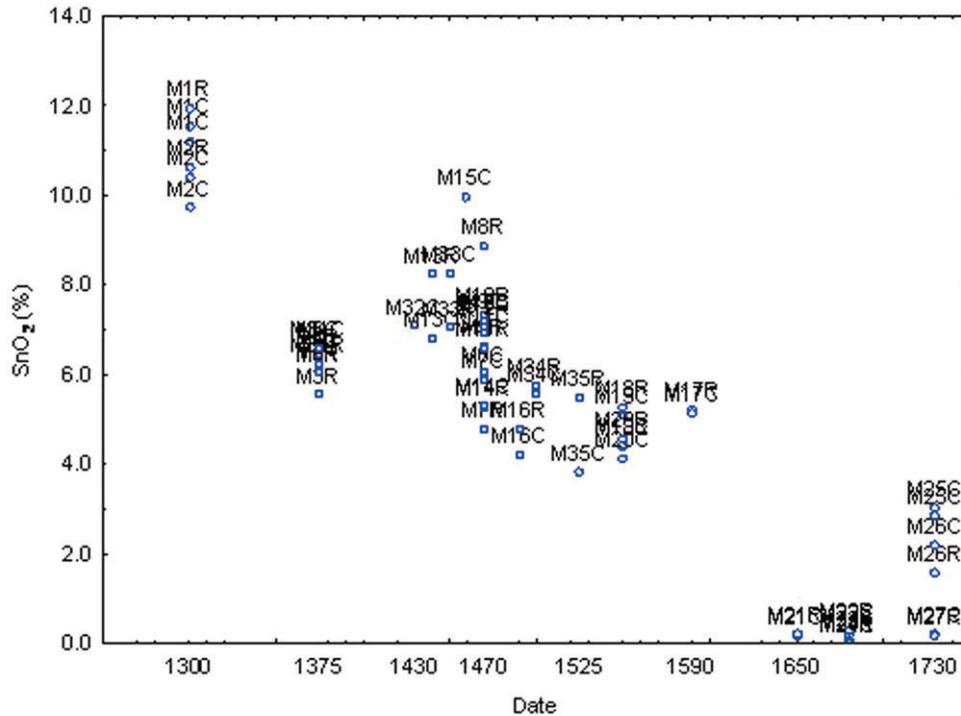


Fig. 4. Tendencia temporal del contenido en SnO₂ de los vidriados blancos de las cerámicas Manises medidos en las caras interior (MxxC) y exterior (MxxR).

banne *et al.* 2008). Con el objeto de obtener información cuantitativa de los perfiles de concentración se utiliza la simulación SIMNRA (Mayer 1997) para ajustar los espectros RBS.

La estructura de los lustres se describe por una sucesión de capas, que pueden no siempre estar presentes en su totalidad:

- Una capa externa de vidriado sin cobre o plata.
- Un conjunto de capas que describen un gradiente de concentración de cobre y/o plata.
- Un “capa principal” conteniendo las cantidades máximas de cobre y/o plata.
- De nuevo otro conjunto de capas con gradientes de concentración de cobre y/o plata que se extiende hasta el sustrato del vidriado exento de metal.

En la tabla 3 se indican por orden cronológico los resultados de la simulación de los 46 espectros RBS medidos con el acelerador en las caras interior y exterior de las cerámicas de Manises, así

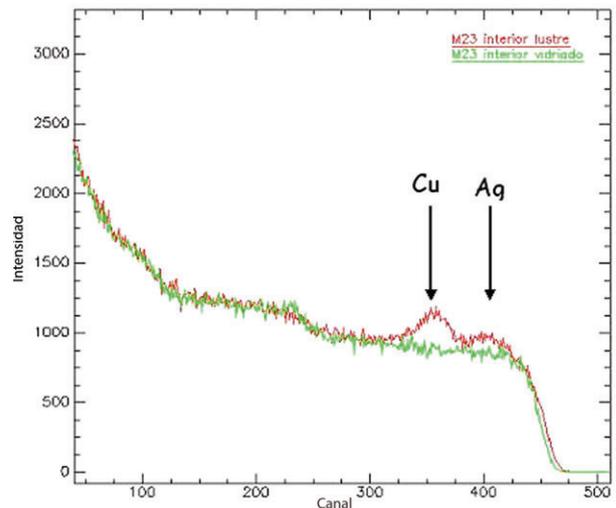


Fig. 5. Espectros RBS medidos en la el lustre y vidriado blanco de la cara interior de la cerámica M23. Los picos de Cu y Ag del lustre se superponen al espectro de un vidriado bien conservado.

como los resultados publicados de los platos del Museo de Cluny (Chabanne *et al.* 2007 y 2008) que tienen las siglas CL. El resumen de los espesores de capas sucesivas y los contenidos en cobre y plata expresados en %at de cada capa, la fecha de elaboración de cada fragmento y la descripción del color con luz difusa se indican en la Tabla 3.

Si bien las tablas facilitan la comparación entre observaciones microestructurales o la interpretación de la correlación entre el color de un lustre con su contenido en nanopartículas de Cu y/o Ag, para evidenciar la evolución temporal de los posibles cambios tecnológicos durante el periodo investigado se han calculado distintos parámetros para su evaluación.

El espesor de la capa superficial externa sin cobre ni plata es un parámetro útil para discriminar producciones de lustres (Padeletti *et al.* 2006; Perez-Arantegui *et al.* 2001; Hélarly *et al.* 2005). En casi todos los lustres producidos en Manises, al menos los fechados antes de 1500, la capa superficial sin metal es ausente, lo cual se observa en las imágenes de alta resolución de algunos especímenes; las imágenes de la muestra M15 (Figura 6) indican que las nanopartículas de metal están en contacto directo con la capa superficial, de acuerdo con el resultado de la simulación RBS; es de señalar que este parámetro es discriminante de los lustres de las majolicas italianas, cuya producción comienza a mediados del siglo XV inspirados en los ceramistas españoles (Caigher-Smith 1985), y que están cubiertos por una fina capa superficial libre de partículas metálicas, algunas veces del orden de pocas decenas de nanómetros (Padeletti *et al.* 2006). A partir del siglo XVI la capa superficial exenta de metales aparece en la estructura de algunos lustres producidos en Manises.

Un parámetro que indirectamente puede dar información sobre la temperatura y tiempo de cocción del lustre es el espesor total del lustre, es decir la suma del espesor de todas las capas con cobre y/o plata más el de la capa superficial externa.

Los contenidos totales en cobre y en plata acumulan la cantidad de cada elemento contenido en todas las capas (expresada en at.cm^{-2}), y es un parámetro representativo de la composición de la mezcla aplicada por el ceramista para obtener el lustre.

Las fracciones en volumen del cobre y la plata total expresan los volúmenes promedio de cobre y plata sobre el espesor total del lustre, y son parámetros que resultan de la combinación de los dos parámetros precedentes, y se calculan considerando que ambos elementos están en forma metálica.

Las propiedades de los lustres son especialmente constantes en todo el periodo de producción si consideramos el espesor total y los contenidos totales en cobre y plata de los lustres. Solo los primeros lustres, producidos alrededor de 1300, tienen un espesor y contenido metálicos ligeramente inferiores al resto, aunque este resultado debe tomarse con prevención. Respecto a las fracciones en volumen de los metales en los lustres, se observa que a partir de 1600 se incrementa la de cobre y disminuye la de plata.

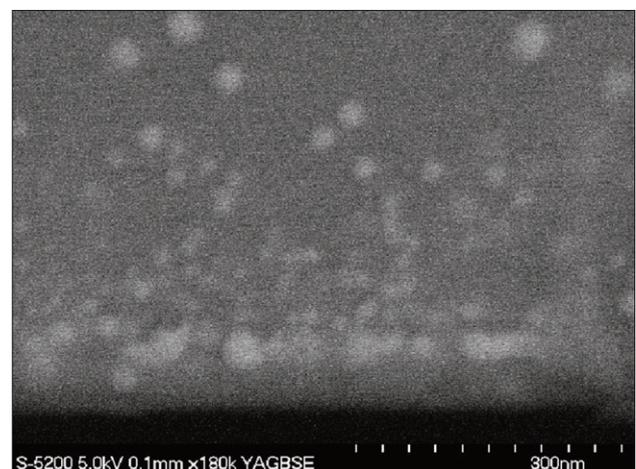
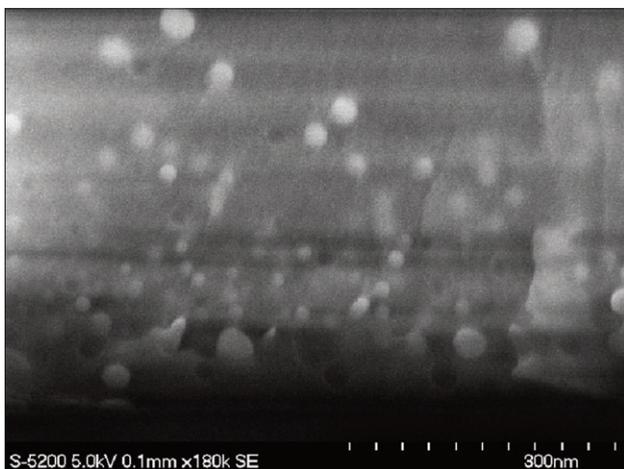


Fig. 6. Imágenes SEM-FEG de electrones secundarios (izquierda) y retrodispersados (derecha) del lustre de la muestra M15. Sobre el gris del vidriado se observan en gris claro las nanopartículas de lustre. En la imagen de la izquierda se observan los huecos esféricos dejados por nanopartículas de Cu/Ag.).

Este mismo resultado se observa si se realiza el cálculo del cociente del volumen de cobre sobre plata depositados en la capa principal del lustre, parámetro que puede dar información sobre de la intención del ceramista de dar una determinada coloración al lustre. Se confirma que la relación Cu/Ag se incrementa considerablemente al comienzo del siglo XVII como consecuencia de un incremento importante en el contenido en cobre y la disminución en plata en la capa principal, lo cual está unido a la evolución sistemática hacia un color más rojizo del lustre. Contrariamente a lo que se sugiere en la literatura (Caigher-Smith 1985), la plata no desaparece completamente de las recetas de lustre en esta fecha. Es interesante mencionar que la aparición de este nuevo aspecto cobrizo de los lustres coincide con la desaparición del estaño en la formulación del vidriado; como consecuencia se producen vidriados más transparentes por lo que el color beige de la pasta es más visible bajo el lustre.

Los cambios tecnológicos descritos, que se detectan desde el comienzo del siglo XVII no pueden desligarse de la orden de expulsión de los moriscos y sea probablemente una manifestación de los cambios sociales que supuso dicho episodio en la historia de Manises.

IV. CONCLUSIONES

Las lozas doradas producidas en Manises tienen un conjunto de propiedades que se mantienen constantes en todo el intervalo temporal de su producción, así como ciertos cambios tecnológicos que afectan tanto a los vidriados como a los lustres.

Respecto a los vidriados, la composición de la frita a base de plomo y potasio, así como la buena calidad de arenas utilizadas se mantienen durante todo periodo de producción. La adición de estaño como opacificante marca una tendencia ge-

neral a reducirse desde el comienzo de la producción, llegando a desaparecer de los vidriados en 1600; este cambio va unido de forma simultánea a la utilización de capas de vidrio más espesas y con el aumento del tamaño de las burbujas e inclusiones en los vidriados, probablemente para compensar la mayor transparencia provocada por la falta de casiterita en el vidriado.

Las propiedades de los lustres son especialmente constantes en todo el periodo de producción. La ausencia de la capa superficial exenta de cobre y plata en los lustres de Manises es uno de sus parámetros característicos al menos para los lustres producidos antes de 1500, y es un parámetro discriminante de esta producción respecto a las majolicas italianas.

Tanto sobre el espesor total del lustre como en la capa principal se observa un incremento relativo en la relación Cu/Ag desde el inicio del siglo XVII debido al incremento del contenido en cobre y a la disminución de plata; la evolución sistemática hacia un color más rojizo de los lustres a partir de esta fecha está asociada también a la reducción en el contenido en estaño de los vidriados.

Del análisis realizado se concluye que en fechas próximas a 1600 se introducen cambios tecnológicos importantes en la producción de la loza dorada de Manises, cuya influencia en la estructura y la composición del vidriado y lustres se ha descrito.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se ha recibido financiación parcial a través de EU-ARTECH (Access, Research and Technology for the conservation of the European Cultural Heritage, Sixth Framework Programme, European Union), contrato RII3-CT-2004-506171.

BIBLIOGRAFÍA

- CHABANNE, D.; BOUQUILLON, A. y AUCOUTURIER, M., 2007: "Analyses et comparaison". *Dectot X*: 16-27.
- CHABANNE, D.; BOUQUILLON, A.; AUCOUTURIER, M.; DECOT, X. y PADELETTI, G. 2008: "Physico-chemical analyses of hispano-moresque lustred ceramics: a precursor of Italian majolica?". *Applied Physics. A* 92: 11-18.
- CAIGHER-SMITH, A. 1985: *Lustre Pottery: Technique, Tradition and Innovation in Islam and the Western World*. Faber & Faber, London, UK.
- HÉLARY, D., DARQUE CERETTI, E. y AUCOUTURIER M. 2005: "Contemporary golden-like lusters on ceramics : morphological, chemical and structural properties". *Journal of the American Ceramic Society* 88: 3218-3221.
- KINGERY, W.D. y VANDIVER, P.B. 1986: *An islamic lusterware from Kashan, Ceramic Masterpieces*. The Free Press, New York.
- LÓPEZ, P. 1985: *Los orígenes de la cerámica de Manises y Paterna (1285-1335)*. Ed. Ateneu Cultural I Recreatiu Cant I Fum. Valencia.
- MASON, R.B. y TITE, M.S. 1997: "The beginnings of tin-opacification of pottery glazes". *Archaeometry* 39 (1): 41-58.
- MAYER, M. 1997-1998: "SIMNRA" © Max-Planck-Institut für Metallphysik. <http://www.rzg.mpg.de/>
- MOLERA, J.; VENDRELL-SAZ, M.; GARCIA-VALLES, M. y PRADEL, T. 1997: "La tecnología de la cerámica islámica y mudéjar". *Caesaraugusta* 73:15-41.
- MOLERA, J.; VENDRELL-SAZ, M.; y PEREZ-ARANTEGUI, J. 2001: "Chemical and textural characterization of tin glazes in Islamic ceramics from Eastern Spain". *Journal of Archaeological Sciences* 28: 331-340.
- NICOLAU BAUZA, J. 1987: *Páginas de la historia de Manises (s. XIV a XVIII)*. Ed. Ateneu Cultural I Recreatiu Cant I Fum. Valencia.
- PADELETTI, G.; INGO, G.M.; BOUQUILLON. A.; PAGES CARMAGNA, 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.
- PADOVANI, S.; PUZZOVIO, D.; SADA, C.; MAZZOLDI, P.; BORGIA, I.; SGAMELOTTI, A.; BRUNETTI, B.G.; CARTECHINI, L.; D'ACAPITO, F.; MAURIZIO, C.; SHOKOUI, F.; OLIAIY, P.; RAHIGHI, J.; LAMEHI RACHTI, M. y PANTOS, E. 2006: "XAFS study of copper and silver nanoparticles in glazes of medieval middle-east lusterware (10th - 13th century)". *Applied Physics. A* 83: 521 - 528.
- PEREZ-ARANTEGUI, J.; MOLERA, J.; LARREA, A.; PRADELL, T.; VENDRELL SAZ, M.; BORGIA, I.; BRUNETTI, B.G.; CARIATTI, F.; FERMO, P.; MELLINI, M.; SGAMELOTTI, A. y VITI, C. 2001: "Luster pottery from the thirteenth century to the sixteenth century: a nanostructured thin metallic film". *Journal of the American Ceramic Society* 84: 442-446.
- POLVORINOS DEL RIO, A.; CASTAING, J. y AUCOUTURIER, M. 2006: "Metallic nanoparticles in lustre glazed ceramics from the 15th century in Seville studied by PIXE and RBS". *Nuclear Instruments and Methods B* 249: 596-600.
- POLVORINOS DEL RIO, A. y CASTAING, J. 2009: "Lustre decorated ceramics from a 15th-16th century production in Seville", *Archaeometry*, in press
- ROQUE, J.; MOLERA, J.; SCIAU, P.; PANTOS, E. y VENDRELL-SAZ, M. 2006: "Copper and silver nanocrystals in lustre lead glazes: development and optical properties". *Journal of the European Ceramic Society* 26: 3813-3824.
- SANCHEZ GÓMEZ, J. 1989: *De minería, metalurgia y comercio de metales*. Ed. Universidad de Salamanca. ISBN: 84-7481-569-X.
- TITE, M. S.; FREESTONE, I.; MASON, R.; MOLERA, J.; VENDRELL-SAZ, M. y WOOD, N. 1998: "Lead glazes in antiquity. Methods of production and reasons for use". *Archaeometry* 40: 241-260.

APROXIMACIÓN A LA ALFARERÍA DE ÉPOCA CELTIBÉRICA EN EL SISTEMA IBÉRICO CENTRAL: CARACTERIZACIÓN DE LAS PRODUCCIONES DE LOS ALFARES DE LA PROVINCIA DE TERUEL*

APPROACH TO THE CELTIBERIAN POTTERY IN THE CENTRAL IBERIAN CHAIN: CHARACTERIZATION OF CERAMIC MATERIALS FROM DIFFERENT PRODUCTIONS CENTRES IN THE REGION OF TERUEL

M.^a Esperanza Saiz Carrasco (1) / Francisco Burillo Mozota (2) / Jesús Igea Romera (3) / Pilar Lapuente Mercadal (3) / Josefina Pérez-Arantegui (4) / Javier Fanlo Loras (1)

(1) Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda

(2) Dpto. de Prehistoria, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales (Teruel), Universidad Zaragoza

(3) Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias (Geológicas), Universidad Zaragoza

(4) Dpto. de Química Analítica, Facultad de Ciencias, Universidad Zaragoza

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados del análisis arqueométrico de las producciones cerámicas de época celtibérica de seis alfares ubicados en la provincia de Teruel. En estos talleres, cuya cronología de funcionamiento se centró en los siglos III-II a. C., se fabricaban cerámicas finas a torno de gran calidad, que se agrupan en distintos grupos funcionales. El objeto del estudio se ha centrado en la caracterización de las diferentes pastas cerámicas procedentes de cada alfar desde un punto de vista mineralógico, textural y químico, con el propósito de crear grupos de referencia con entidad propia en cada alfar, así como establecer los procesos tecnológicos empleados en su manufactura. Las muestras fueron analizadas mediante microscopía óptica convencional (MO), difracción de rayos X (DRX), análisis textural por tratamiento digital de imágenes (TDI) y análisis químico mediante espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES). Los resultados obtenidos han permitido discriminar las producciones y establecer el tipo de pasta característico de cada uno de los alfares, independientemente de la morfología de los fragmentos analizados. Además se ha conseguido ampliar el conocimiento sobre los procesos tecnológicos que intervienen en la fabricación de estas cerámicas celtibéricas confirmando la gran estandarización del proceso.

SUMMARY: This work shows the results about archaeometric analysis of pottery productions related with six local Celtiberian production centres from the region of Teruel (Spain). In these potter's workshops dated from the third to the second centuries BC, have been made wheel's pottery grouped in different types of vessels. The main goal of this research is to characterize different ceramic pastes from a mineralogical, textural and chemical point of view, with the purpose to form reference groups from each production centre and to establish the technology of manufacture. The samples have been analysed by means of optical microscopy (OM), X-ray diffraction (XRD), textural analysis by means of an image digitalization system and chemical analyses by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES). The results derived have allowed to distinguish different ceramic fabrics and to establish the characteristic paste from each ceramic workshop regardless of the shape of the fragments analysed. In addition, we have improved our understanding of the technological processes that were involved in the production of this Celtiberian pottery confirming the use of a standardized process.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, cerámica celtibérica, alfares, tecnología de manufactura.

KEY WORDS: Characterization, Celtiberian pottery, production centres, technology of manufacture.

* Este trabajo se desarrolla dentro del proyecto I+D: HAR2008-04118/HIST financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y los fondos FEDER.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el ámbito del Sistema Ibérico Central, territorio identificado con la Celtiberia Histórica, se han documentado, hasta el momento, doce alfares de época celtibérica de los cuales la mayoría son yacimientos inéditos (Figura 1). La amplitud del territorio de estudio nos ha permitido marcar diferencias significativas entre distintos talleres, pero a su vez supone una desventaja ya que consideramos que todavía existen grandes vacíos de información, fundamentalmente en lo que se refiere a localización de nuevos alfares.

Precisamente, el identificar las diferencias es lo que nos ha llevado a centrarnos en el estudio de seis de estos alfares ubicados en la provincia de Teruel. Esta investigación se incluye dentro de un proyecto más ambicioso que engloba el estudio del conjunto de los doce centros alfareros celtibéricos. En una investigación previa, se ha establecido la metodología experimental de trabajo para el análisis de estas cerámicas (Saiz *et al.* 2008: 265-276), basada en la integración de varios niveles de información (análisis tipológico y multivariante, estudio de las decoraciones y acabados y caracterización arqueométrica) consiguiendo discriminar producciones cerámicas procedentes de alfares del resto del territorio cuyas características *a priori* parecían muy similares (Igea *et al.* 2008: 44-55).

Por tanto, el objetivo del estudio se ha centrado en la caracterización arqueométrica de las distintas pastas cerámicas muestreadas en cada uno de los alfares desde un punto de vista mineralógico, textural y químico, con el propósito de crear los grupos de referencia de cada alfar, así como establecer los procesos tecnológicos empleados en su manufactura.

De Norte a Sur los yacimientos que han sido objeto del análisis son: Allueva II y Cerrá la Viña I (Allueva), Las Veguillas (Camañas), Las Tejedas (Orihuela del Tremedal) y Los Vicarios y Lavadero-Escobares (Valdecebro) (Figura 1).

Los materiales analizados proceden de los trabajos de prospección microespacial realizados

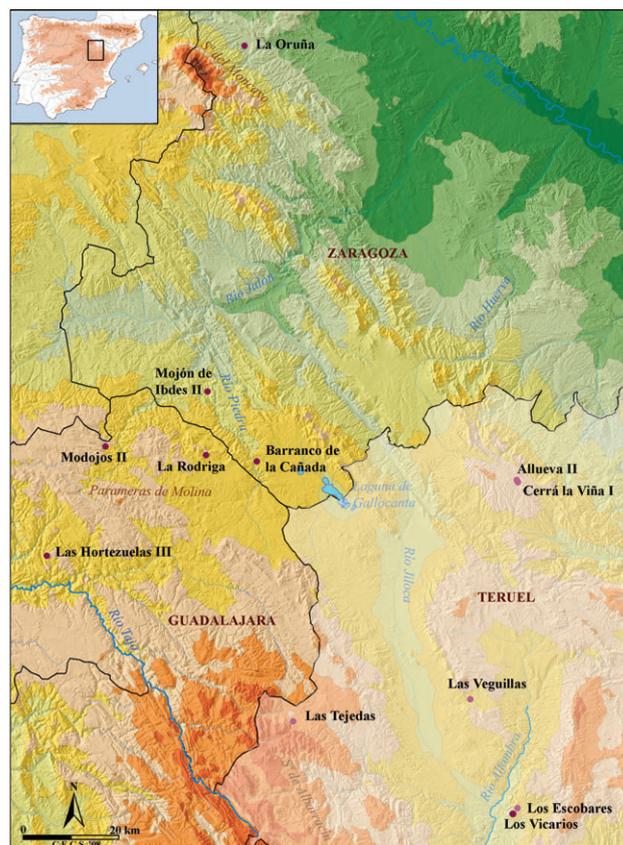


Fig. 1. Mapa de situación de los alfares celtibéricos del Sistema Ibérico. La zona más clara de la figura corresponde a los alfares pertenecientes a la provincia de Teruel.

recientemente en cada uno de estos yacimientos. En estos talleres se fabricaban cerámicas finas a torno de gran calidad, cuya pasta presenta gran semejanza desde el punto de vista macroscópico (color, cocción, tacto e inclusiones).

Las vasijas producidas en estos alfares son similares, estando presentes prácticamente todas las formas representativas del ajuar celtibérico que han sido estudiadas por grupos funcionales clasificados en vajilla de almacenaje/transporte, vajilla de servicio y vajilla de mesa (Figura 2). La decoración empleada es la pintura aplicada directamente sobre la superficie de las vasijas o sobre el engobe, utilizando colores marrón, rojo y negro.

A partir de los materiales de cada alfar se estima una cronología de funcionamiento de estos centros similar, centrada en los siglos III-II a. C., con probable inicio a finales del IV a. C. para el caso de Las Veguillas (Camañas) y perduración hasta el s. I a. C. - I d. C. en Los Vicarios (Valdecebro).

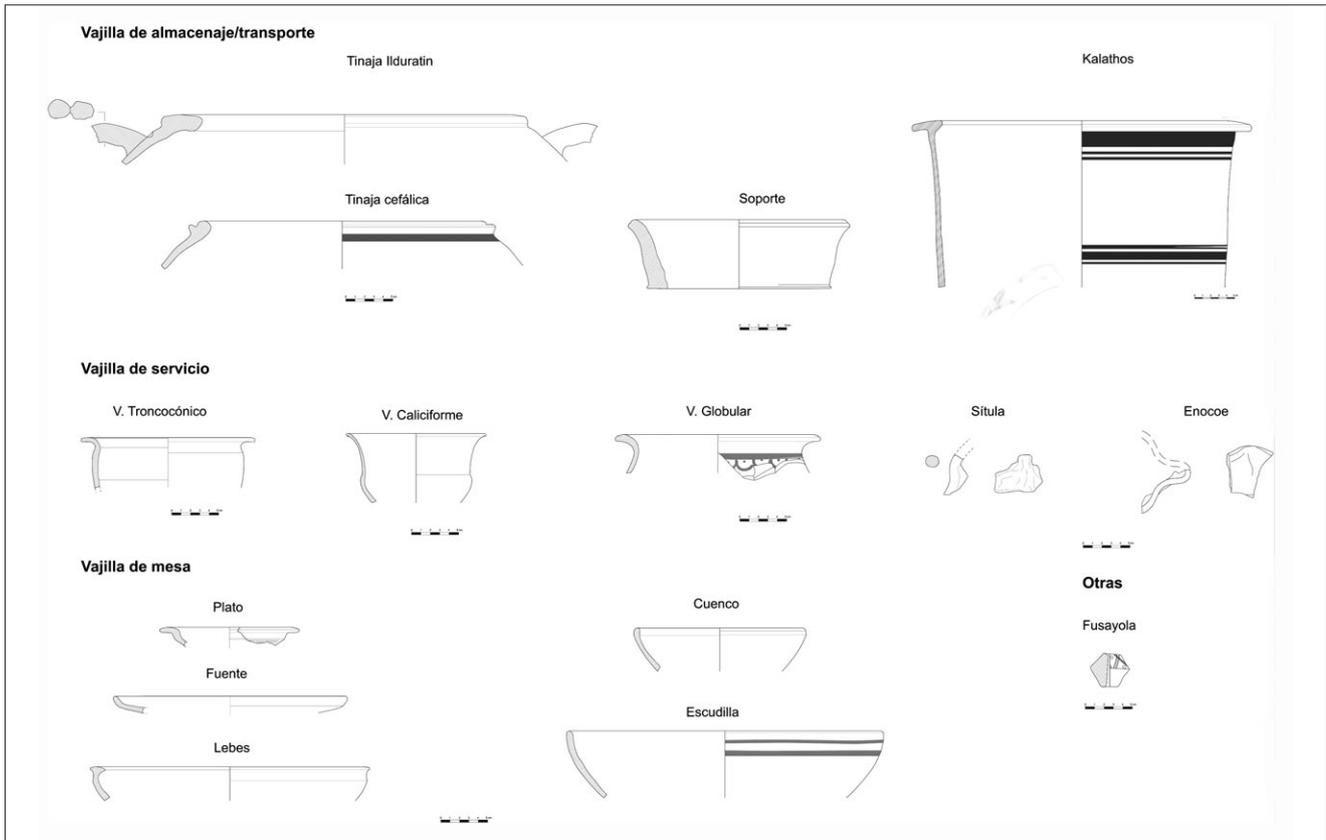


Fig. 2. Formas cerámicas documentadas en los alfares del Sistema Ibérico ubicados en la provincia de Teruel.

II. METODOLOGÍA

De forma previa a la caracterización arqueométrica, se realizó una descripción y clasificación macroscópica de las muestras cerámicas, con objeto de establecer grupos representativos, partiendo de criterios macroscópicos como son color, cocción, dureza, tacto, textura e inclusiones (Perez-Arantegui *et al.* 1996a: 10- 24). Se han analizado un total de 23 muestras en el conjunto de los 6 yacimientos. Las muestras pertenecen a fragmentos de cerámicas elaboradas a torno encontrándose representados los distintos grupos funcionales referidos anteriormente (Tabla 1).

El estudio detallado del color (Tabla 1), se llevó a cabo incluyendo su superficie externa, interna y de la fractura una vez seccionada de cada muestra (parámetros cromáticos CIELAB76 L*, a*, b* y Munsell), con un espectrofotómetro Minolta CM-2600d que opera con luz ultravioleta y condiciones de promedio de tres medidas simultaneas SCE (componente especular excluido) cada 0.5 segundos, observador a 10°, iluminante D65 y un área de medida de 3 mm.

El reconocimiento microscópico de los minerales presentes y de la textura de las pastas cerámicas se ha realizado con un microscopio óptico de polarización, modelo Olympus AX70 con equipo de microfotografía. Las láminas delgadas se elaboraron 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. La caracterización petrográfica permite identificar los granos minerales y fragmentos de roca, que constituyen los desgrasantes del producto cerámico, 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).

De forma complementaria se efectuó el análisis mineralógico mediante difracción de rayos-X (DRX) por el método de polvo convencional, determinándose tanto las fases de la muestra total (en polvo desorientado de muestra tamizada por debajo de 63 µm), como la mineralogía arcillosa (utilizando tres agregados orientados: sin tratamiento

LOCALIZACIÓN YACIMIENTO	MUESTRA	TIPOLOGÍA	COLOR										
			Externo			Interno			Corte				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	Munsell	
Camañas Las Veguillas	Ca1	Tinaja	67,7	6,5	22,9	60,1	9,3	23,1	59,8	5	10,3	7,7 YR	5,9/1,9
	Ca2	Tinaja	53,3	21,1	25,7	55,2	20,8	24,4	57,3	15	20,1	3,9 YR	5,6/4,5
	Ca 3	Escudilla	54,4	8,2	19,2	58,7	10,7	24,4	57,8	3,6	12,4	0,5 Y	5,7/1,9
Allueva Cerrá La Viña I	AICV-1	Tinaja	57,5	23,6	31,6	57,8	26	35	58	23,5	28,7	3,0 YR	5,7/6,7
	AICV-2	Vasija globular	65,7	15,7	30,5	64,9	16,8	32,3	63,1	13,5	24,8	6,4 YR	6,2/4,8
	AICV-3	Tinaja	64	11,6	28,9	63,3	12,7	28,8	52,9	14,1	33	8,4 YR	5,2/5,7
Allueva Allueva II	All-1	Tinaja	57	20,6	26,5	56,4	24,7	29,1	55,1	22,5	27,1	2,9 YR	5,4/6,3
	All-2	Indeterminado	64,6	9,3	22,1	62,1	11,3	22	61,8	10,9	22,2	7,4 YR	6,1/4,1
	All-3	Cuenco	63,5	15,3	30,3	61,4	15,1	29,7	62,6	13,5	24,7	6,5 YR	6,2/4,8
Valdecebro Vicarios	VaVI-1	Tapadera	66,7	8,3	21,7	70,4	8,6	22,9	61	11,3	22	7,2 YR	6,0/4,1
	VaVI-2	Tinaja	66,5	12	28	54,6	19,4	26,4	56,2	16,9	22,5	3,9 YR	5,5/5,0
	VaVI-3	Indeterminado	57,8	14,8	25	60	15,5	24,3	57,4	13,1	21,1	5,5 YR	5,7/4,3
	VaVII-1	Soposte	61,3	15,9	30	60,5	16,5	28	50,9	11,9	17	4,8 YR	5,0/3,6
	VaVII-2	Vasija	63,8	6,9	20,1	60,6	13,3	22,2	58,7	18,7	23,8	3,4 YR	5,8/5,4
Valdecebro Lavadero-Escobares	VaVII-3	Tinaja globular	63,6	13,3	27,3	61,9	12,4	25,4	57,2	3,6	11,3	0,1 Y	5,6/1,8
	VaLa-1	Tinaja	57	23,7	29,8	58	23,4	29,6	53,1	20,6	24,9	3,0 YR	5,2/5,8
	VaLa-2	Tinaja	64,3	11,7	20,9	58,6	12	20,2	59	10,3	19,3	7,0 YR	5,8/3,7
	VaLa-3	Indeterminado	72,3	9,8	24,4	72	9,7	24,1	68,6	9,2	21	8,0 YR	6,8/3,7
	VaEs-1	Vasija globular	59,7	18,8	22,9	56,7	22,3	28	57,2	15,6	20,7	3,9 YR	5,6/4,6
	VaEs-2	Tinaja	71,8	6,6	18,8	59,7	23,9	31,3	58,9	18,5	24,7	3,8 YR	5,8/5,5
Orihuela Las Tejadas	VaEs-3	Vaso caliciforme	61,2	14,3	25,3	61,7	14,4	25,2	54,6	12,1	19,4	5,7 YR	5,4/3,9
	OTTe-1	Vasija globular	55,4	23,9	34	55	23,6	33,7	57,8	18,9	28,6	4,7 YR	5,7/5,9
	OTTe-2	Tinaja	53,9	18,1	28,1	55,4	17,7	27,6	50,4	14,6	24,2	5,9 YR	5,0/4,7
	OTTe-3	Indeterminado	53,3	21	24,7	56,4	19	24,9	59	17,9	23,3	3,6 YR	5,8/5,3

Tabla 1. Características de las muestras seleccionadas para los análisis y medida del color.

previo, con calentamiento a 550^o C 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.

Los registros difractométricos se obtuvieron en un equipo Bruker D5005, trabajando a 40 Kv, 30 mA, utilizando radiación de Cu Kα con monocromador primario, con ventanas fijas de 1^o, 1^o, 1^o, 0.15^o y 0.15^o, en barridos continuos con paso angular de 0.04^o (2θ) y 4 segundos de tiempo de conteo. El difractor utilizado opera bajo el sistema Difracc-Plus, que incluye asimismo el software de tratamiento de datos Eva-Plus basado en el método de las intensidades de referencia con op-

ciones de búsqueda en la base de datos ICDD.

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 fabricación de las pastas cerámicas (Jordan *et al.* 1999: 225-234); fundamentalmente estimar su temperatura de cocción y como criterio de validación de las posibles fuentes de materia prima utilizadas en la elaboración de las piezas.

El análisis textural se completó con el tratamiento digital de microfotografías representativas de las pastas, en condiciones de luz polarizada

plana y cruzada. Estas imágenes fueron tratadas con el software informático de análisis Adimag 1.2., 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. Los valores obtenidos se recogieron en una hoja de cálculo, para su tratamiento y representación gráfica.

El uso de esta técnica permite discriminar las pastas de cada centro de producción, a través de la diferenciación de sus características texturales (Lapuente *et al.* 1999: 1835-1846) y su aplicación es de gran utilidad cuando dichas producciones presentan características composicionales similares, como son las pertenecientes a los alfares celtibéricos ubicados en el territorio del Sistema Ibérico Central (Igea *et al.* 2008:44-55). Para ello, se eligió como prototipo de cada alfar, la pasta más representativa por su abundancia. Cuando en un mismo centro se observaron mediante microscopía óptica texturas muy distintas, se realizó el tratamiento en varias muestras.

Por último el análisis químico de las pastas se llevó a cabo mediante Espectrometría de emisión atómica con Plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES), con el instrumento Thermo Elemental Iris Intrepid Radial Spectrometer.

Previamente, se tomó una pequeña parte del interior de la pieza cerámica eliminando la capa superficial con una broca con cabeza de diamante y cortando la muestra con sierra de diamante para la posterior trituración del fragmento en mortero de ágata. La disolución se efectuó a partir de 50 mg de cada muestra por ataque ácido en tubo abierto de Teflón. En el procedimiento seguido se añadieron inicialmente 3 mL de HNO₃ (65% w/v) y 2 mL de HCl (32% w/v), calentando hasta sequedad. Posteriormente se añadieron 4 mL de HF (40% w/v), llevándolos de nuevo hasta sequedad y repitiendo este paso tres veces, para finalmente colocar en el tubo 1 mL de HNO₃ y 4 mL de HClO₄ (60% w/v) y calentar durante 1 hora, asegurando así la total disolución del residuo (Pérez-Arantegui *et al.*: 1996b). Una vez que las muestras estuvieron di-

sueltas, se llevaron a un volumen final de 50 mL. En cada una de las disoluciones se determinaron los siguientes elementos: aluminio, calcio, magnesio, hierro, potasio, sodio, manganeso, titanio, bario y estroncio, siguiendo la correspondiente calibración mediante patrones analíticos.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de las distintas técnicas analíticas utilizadas han llevado a la distinción de 7 tipos de pastas cerámicas independientemente de su morfología o grupo funcional previamente establecido. En cada uno de los 6 yacimientos se ha determinado las características propias de cada tipo, dando preferencia a la pasta con mayor representación porcentual (**tipo 1** de cada yacimiento).

Respecto a las observaciones al microscopio óptico, el conjunto de las muestras estudiadas presenta inclusiones de litología fundamentalmente silicatada con un tamaño medio de grano que corresponde a la fracción de limo grueso. En todas las pastas, el cuarzo monocristalino es el componente mayoritario de los desgrasantes y todas presentan fases que contienen hierro y minerales opacos con un tamaño de grano muy variable (Figura 3a). Además, las micas tipo moscovita, aunque en distintas proporciones, están presentes en todas las pastas. Por otra parte, los fragmentos de rocas carbonatadas aparecen parcialmente descompuestos a nodulizaciones de cal dependiendo de las condiciones de cocción experimentadas por cada muestra. Se ha observado también la presencia de cristalización de calcita secundaria de aporte externo, tapizando la porosidad en gran parte de las muestras estudiadas.

La matriz tiene una composición arcilloso-mi-cácea con proporciones variables de óxidos de hierro y minerales opacos. Su comportamiento óptico es variable, pero preferentemente anisótropo frente a la luz polarizada. En ocasiones, la difusión del hierro en la matriz puede llegar a enmascarar totalmente su birrefringencia, como ocurre en muestras como AICV-1 o OTTe-3 (Figura 3b). Por otra parte, todas las pastas tienen una porosidad relativamente baja con morfología de vacuolas de desgasificación, ligera-

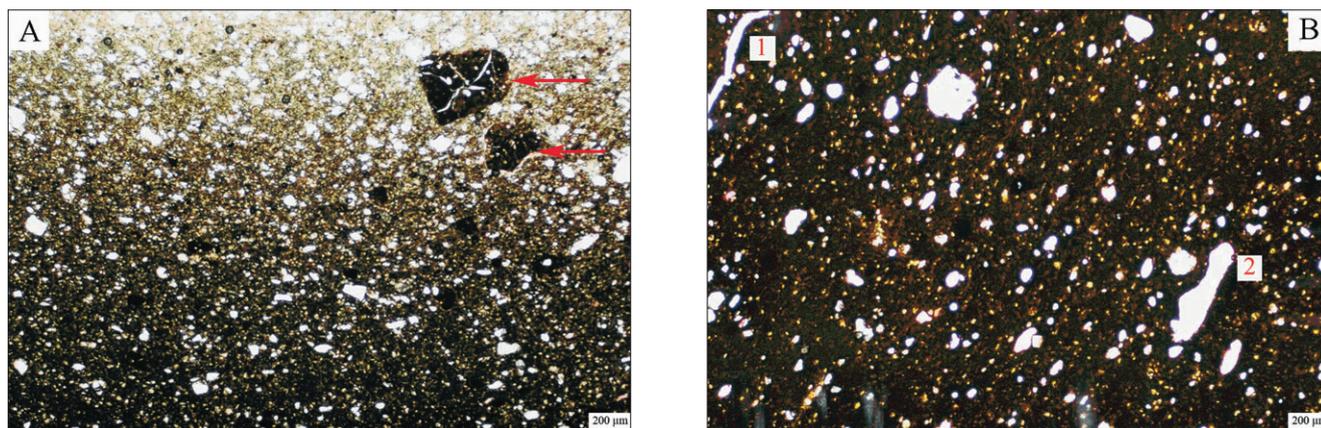


Fig. 3. a) Fragmentos de roca con elevado contenido en óxidos de hierro en la muestra AICV-2. Nícoles paralelos. b) Aspecto de la porosidad de la pieza OTTe-3: 1; porosidad lineal. 2; poro con morfología elongada. Nícoles paralelos.

mente mayores que el tamaño medio de las inclusiones (limo grueso), generalmente redondeadas y en ocasiones alargadas (Figura 3b). En algunas piezas cocidas a mayor temperatura se observa porosidad lineal, paralela a los bordes, generada presumiblemente por contracción en la cocción.

La asociación mineralógica detectada mediante DRX, está formada por cuarzo ± feldespatos ± calcita ± hematites ± filosilicatos (illita-moscovita) ±

diópsido ± gehlenita ± wollastonita (Tabla 2). La mayor parte de la calcita detectada por DRX se refiere a la fase secundaria precipitada durante el enterramiento mientras que la original, observada bajo el microscopio en forma de grumos o nodulizaciones de reacción, ha sufrido también recarbonatación (Igea *et al.* 2008: 44-55; Leguey *et al.* 2001: 455-459).

En cuanto a las fases de neoformación, producto del proceso de cocción, han sido identifica-

Muestra	Qtz	Fks (Or)	Pl (An)	Cc	Di	Wo	Ge	H	Fil
Ca1	++	-	+++	+	+++	I	+	+	-
Ca2	+++	++	+	++	+	I	-	+++	+
Ca3	+++	-	++	+++	+	I	-	+	-
AICV-1	+++	+	+	+++	+	I	+	++	+
AICV-2	++++	+	+	+	+	I	+	+	+
AICV-3	++	+	++++	+	+	-	+	+	-
All-1	++++	+	+	I	I	I	+	++	+
All-2	++++	+++	+	-	-	-	+	-	+
All-3	+++	+++	+	+	+	-	+	+	+
VaVI-1	+++	+	++	++	+	I	+	+	+
VaVI-2	+++	+	++	++	+	I	+	++	+
VaVI-3	+++	++	+++	+	+	I	+	++	+
VaVII-1	+++	++	++	++	+	I	+	++	+
VaVII-2	+++	+	+++	+	+	-	+	++	+
VaVII-3	+++	++	+++	+	+	I	+	+	+
VaLa-1	+++	++	++	++	+	I	+	+++	+
VaLa-2	+++	++	+	++	+	I	+	+	+
VaEs-1	++	++	++	+++	+	+	++	-	+
VaEs-2	+++	++	+	++	+	I	+	+++	+
VaEs-3	++	++	++	++	++	I	+	+++	+
OTTe-1	++	+	+++	++	+	I	+	++	+
OTTe-2	+++	++	+++	-	+	I	-	++	+
OTTe-3	++	+++	+++	-	+	I	-	++	+

Tabla 2. Resultados de los análisis de DRX. Estimaciones relativas a Qtz = Cuarzo, Fks = Feldespato potásico (ortosa), Pl = Plagioclasa (anortita), Cc = Calcita, Di = Diópsido, W = Wollastonita, Ge = Gehlenita, H = Hematites, Fil = Filosilicatos deshidroxilados. Proporciones relativas: ++++: muy abundante; +++: abundante; ++: medio; +: escaso; I: indicios; -: ausente.

Yacimiento	Muestra	% Limo fino	% Limo grueso	% Arena fina	% Arena media	% Total	% Matriz
Las Veguillas	Ca-2	2.02	6.34	0.17	0.00	8.52	91.48
Allueva II	All-3	3.14	9.35	0.60	0.00	13.09	86.91
Cerrá La Viña	AICV-1	0.80	3.04	0.06	0.00	3.90	96.10
Cerrá La Viña	AICV-2	2.89	12.19	0.21	0.02	15.31	84.69
Los Vicarios	VaVII-3	1.27	6.91	0.35	0.00	8.53	91.47
Lavadero-Escobares	VaEs-3	1.53	6.20	0.23	0.00	7.96	92.04
Las Tejedas	OTTe-3	1.12	6.79	0.47	0.00	8.38	91.62

Tabla 3. Estimación porcentual mediante tratamiento digital de imágenes de las distintas fracciones granulométricas para cada una de las muestras analizadas.

dos como ya hemos indicado anteriormente, algunos minerales progradados tipo diópsido, gehlenita y wollastonita, cuya presencia es frecuente en cerámicas producidas a partir de arcillas ricas en calcio (Peters e Iberg 1978: 503-509; Cultrone *et al.* 2001: 621-634). Sin embargo, hay que señalar que el contenido de estos minerales en las cerámicas que nos ocupan excepto en algunas excepciones, es muy escaso y con un desarrollo muy incipiente.

A partir del análisis textural mediante tratamiento digital de imágenes se ha determinado la superficie ocupada por los desgrasantes midiendo todas las inclusiones que mostraban sus límites bien definidos. La proporción de matriz respecto a la de inclusiones se ha establecido por diferencia de la medida superficial ocupada por los desgrasantes.

La realización del análisis granulométrico se ha llevado a cabo únicamente a partir de una máscara correspondiente al conjunto de inclusiones a diferencia de la investigación realizada en otros alfares celtibéricos del Sistema Ibérico Central donde se empleó una máscara complementaria correspondiente a los componentes opacos (en general fragmentos de rocas ferruginosas) (Igea *et al.* 2008: 44-55).

En la Tabla 3 se recogen los porcentajes de las distintas fracciones granulométricas correspondientes a las muestras características de cada uno de los grupos cerámicos descritos. El análisis

de la distribución granulométrica en cada una de las pastas permite destacar que todas las piezas presentan pastas muy depuradas (>84% de matriz) con un tamaño de grano que varía entre el limo fino (<16µm) y la arena media (250-500 µm), aunque prevalece el tamaño de limo grueso (16 - 62 µm).

En la Figura 4 se han representado las fracciones correspondientes a los distintos tamaños de grano frente al porcentaje acumulativo de inclusiones, para cada una de las muestras seleccionadas. Como puede observarse, las mayores diferencias se deben a la proporción total de inclusiones y se producen entre dos muestras (AICV-1, AICV-2) que pertenecen al mismo yacimiento (Cerrá La Viña, Allueva).

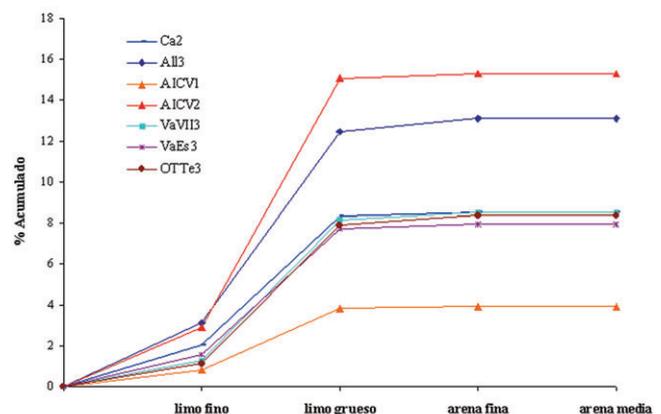


Figura 4. Curvas granulométricas correspondientes a la muestra característica de cada uno de los tipos cerámicos descritos.

Muestra	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)
Ca1	0.30	2.85	19.90	4.58	12.21	0.64	6.72	0.06	487	310
Ca2	0.21	2.43	19.47	4.46	7.30	0.66	6.38	0.07	916	258
Ca3	0.21	2.65	16.08	3.28	14.74	0.55	5.41	0.05	1243	377
AICV1	0.16	0.87	19.90	1.36	12.02	0.76	5.49	0.03	545	175
AICV2	0.14	0.48	17.32	1.09	8.17	0.78	5.40	0.03	497	105
AICV3	0.12	0.36	17.16	1.16	13.22	0.83	5.40	0.03	396	169
AII1	0.10	0.38	13.58	1.27	4.68	0.59	3.72	0.02	423	104
AII2	0.10	0.44	14.16	1.20	6.87	0.53	4.03	0.08	444	159
AII3	0.12	0.43	16.01	1.19	5.57	0.70	4.51	0.02	430	121
VaVI1	0.19	1.85	16.95	3.68	13.84	0.58	5.66	0.04	404	247
VaVI2	0.20	1.78	19.70	4.30	6.61	0.65	6.39	0.05	451	207
VaVI3	0.19	1.82	17.64	4.03	8.51	0.54	5.56	0.05	454	197
VaVII1	0.26	2.03	18.97	4.28	4.57	0.63	6.17	0.05	425	190
VaVII2	0.32	2.03	19.63	4.46	8.45	0.61	6.18	0.04	445	199
VaVII3	0.22	2.02	14.97	3.43	4.65	0.43	4.50	0.03	509	190
VaLa1	0.19	2.11	17.71	3.97	9.45	0.59	5.64	0.04	461	256
VaLa2	0.17	3.92	18.47	4.36	6.17	0.70	6.41	0.06	568	414
VaEs1	0.19	4.82	21.09	4.70	5.99	0.66	6.69	0.04	531	230
VaEs2	0.19	2.10	20.38	4.05	12.85	0.68	7.00	0.06	449	285
VaEs3	0.21	5.96	21.06	4.69	5.01	0.69	6.75	0.04	580	263
OTTe1	0.16	3.71	16.09	6.29	0.47	0.58	7.10	0.1	423	111
OTTe2	0.22	5.67	18.80	7.03	1.28	0.66	6.77	0.08	597	145
OTTe3	0.26	10.85	19.87	3.76	8.37	0.77	6.71	0.07	684	727

Tabla 4. Resultados de los análisis químicos mediante ICP-AES.

Por otra parte, la mayoría de las pastas diferenciadas en cada yacimiento se caracterizan por presentar una gran uniformidad en los valores de los compuestos químicos analizados (Tabla 4). Las mayores variaciones composicionales entre muestras del mismo yacimiento se han obtenido en las muestras de Camañas (Ca-) y Orihuela del Tremedal (OTTe-).

IV. DISCURSIÓN

A continuación se discuten las principales características de cada centro de producción.

Allueva II, Allueva (Teruel)

El conjunto de las cerámicas de este yacimiento muestra un comportamiento birrefringente frente a la luz polarizada. Básicamente, sus características granulométricas y composicionales simila-

res han llevado a considerar un único tipo de pasta formado por las 3 muestras analizadas (**tipo 1**).

Las inclusiones presentan un tamaño de grano uniforme, mayoritariamente de limo grueso (con un tamaño medio en torno a las 26 µm) y cuya proporción varía entre el 13 y el 15%. El diámetro máximo del desgrasante no supera las 500 µm. La composición es mayoritariamente cuarcítica y de forma minoritaria podemos encontrar fragmentos de rocas cuarcíticas, silexíticas y carbonatadas, no habiéndose detectado líticos areníticos.

Los análisis químicos reflejan una gran uniformidad respecto a las muestras analizadas, no solo entre los fragmentos cerámicos de este yacimiento sino también con los del yacimiento de Cerrá La Viña I, que se encuentra ubicado también en la localidad de Allueva a escasos metros del yacimiento Allueva II.

Cerrá La Viña I, Allueva (Teruel)

Dentro de este yacimiento encontramos al menos 2 tipos distintos de pastas cerámicas diferenciables a partir de sus características petrográficas y granulométricas.

La pasta **tipo 1** incluye la muestra AICV-2 con una representatividad del 40%. Petrográficamente, presenta una matriz arcilloso-micácea con un comportamiento óptico frente a la luz polarizada ligeramente anisótropo. El contenido en desgrasantes es del 15%, con un diámetro medio en torno a 25 μm (fracción limo grueso) y máximo de 500 μm . Dichas inclusiones se componen mayoritariamente de cuarzo y de forma minoritaria feldespatos y fragmentos de rocas cuarcíticas, lutíticas y carbonatadas.

Por otra parte, la pasta tipo 2 incluye los fragmentos AICV-1 y AICV-3 y tiene una representatividad del 28%. A diferencia de la pasta tipo 1, esta pasta se caracteriza por una matriz con comportamiento isótropo frente a la luz polarizada. Además, es característico el contenido en inclusiones mucho menor que en el tipo 1 o que en otras pastas de los demás yacimientos y que no supera el 3%. El tamaño medio de grano corresponde de nuevo a la fracción limo grueso y el diámetro máximo no supera las 300 μm . Respecto a su composición, se distinguen únicamente desgrasantes de composición cuarzo-feldespática. No se han observado fragmentos líticos.

La muestra AICV-3, podría englobarse dentro del **tipo 2**, ya que presenta un desgrasante con unas características composicionales y granulométricas similares a AICV-1, pero está compuesta por una matriz con un grado alto de vitrificación lo que denotaría una mayor temperatura de cocción, hecho verificado a partir de la paragénesis mineral analizada mediante DRX (Tabla 2), con elevados contenidos en minerales de alta temperatura (plagioclasa cálcica, tipo anortita).

Químicamente, ambos tipos de pastas presentan valores muy uniformes en todos los compuestos analizados.

Las Veguillas, Camañas (Teruel)

La producción cerámica de este yacimiento se caracteriza por presentar una clara uniformidad, por lo que se ha considerado un único tipo de pasta formado por las 3 piezas estudiadas (**tipo 1**). La matriz arcilloso-micácea de la muestra Ca-2 mantiene un comportamiento ligeramente anisótropo frente a la luz polarizada mientras que en los fragmentos Ca-1 y Ca-3 el comportamiento es isótropo. Además, la matriz de la muestra Ca-2 contiene un elevado porcentaje en óxidos de hierro-opacos presentando un color rojizo que se corrobora con un alto porcentaje de hematites analizado mediante DRX (Tabla 2).

Las inclusiones presentan un tamaño de grano muy uniforme con un tamaño medio en torno a las 25 μm , que correspondería a limo grueso y cuya proporción varía entre el 9-10%. El diámetro máximo varía de unas muestras a otras pero no supera las 600 μm . Su composición es fundamentalmente cuarcítica y en cantidades menores podemos encontrar feldespatos, así como fragmentos de rocas cuarcíticas, silexíticas y carbonatadas. Por otra parte los fragmentos Ca-1 y Ca-3 presentan además fragmentos líticos areníticos.

Químicamente tanto Ca-1 como Ca-2 muestran un patrón analítico similar y difieren de Ca-3 que presenta una mayor proporción relativa en fases fundamentalmente de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O y un contenido mayor en Ba (Tabla 4).

Las Tejadas, Orihuela del Tremedal (Teruel)

La producción cerámica estudiada en este yacimiento presenta una matriz arcilloso-micácea con un comportamiento ligeramente birrefringente frente a la luz polarizada. Los 3 fragmentos analizados comparten unas características petrográficas y granulométricas similares por lo que podría diferenciarse un único tipo de pasta (**tipo 1**), aunque químicamente presentan ligeras variaciones en algunos compuestos como detallaremos a continuación.

El conjunto de las inclusiones presenta un tamaño medio de grano que corresponde a la fracción limo grueso (30 μm) y un diámetro máximo que no supera las 750 μm , con un porcentaje en desgrasantes variable entre un 7 y un 10%.

Respecto a la naturaleza de las inclusiones, se han distinguido cuarzo, feldespatos y fragmentos de rocas fundamentalmente cuarcíticas y areníticas aunque también carbonatadas. Es destacable en este tipo de pasta, la abundancia de los fragmentos líticos silicatados, llegando a ser similar en proporción a las inclusiones de cuarzo. Además, este tipo de inclusiones presentan los mayores tamaños de grano.

Químicamente existen variaciones destacables entre las diferentes muestras del yacimiento. Mientras los fragmentos *OTTe-1* y *OTTe-2* muestran un patrón analítico similar, la muestra *OTTe-3* presenta un alto contenido en compuestos de MgO y CaO y bajo en K₂O respecto a éstas (Tabla 4).

Los Vicarios, Valdecebro (Teruel)

El conjunto de las 6 muestras cerámicas estudiadas en este alfar se caracteriza por presentar una matriz de composición arcilloso-micácea con un comportamiento anisótropo frente a la luz polarizada. Todos los fragmentos de este yacimiento se han sintetizado en un único tipo de pasta porque presentan en líneas generales unas características petrográficas y composicionales similares aunque con ligeras variaciones granulométricas (**tipo 1**).

La litología de las inclusiones es semejante en todas las muestras con altos contenidos en cuarzo, seguido de feldespatos y fragmentos de rocas cuarcíticas y silexíticas y en menor medida carbonatadas. Es característico en este yacimiento respecto a los anteriormente descritos, la presencia de fragmentos de rocas areníticas presentando los mayores tamaños de grano. Por otra parte, el contenido en desgrasantes es variable de unas muestras a otras entre un 9 y un 20% siendo destacable que el diámetro medio (30 μm) que correspondería a un tamaño de grano de limo grueso

y el diámetro máximo de las inclusiones, son los más altos de las pastas hasta ahora citadas llegando alcanzar este último las 800 μm .

Lavadero-Escobares, Valdecebro (Teruel)

La producción cerámica de este alfar se compone de un conjunto de 5 muestras que presentan una matriz de composición arcilloso-micácea y comportamiento óptico frente a la luz polarizada variable, desde ligeramente anisótropo a isótropo. Se ha distinguido un único tipo de pasta representado por las 5 muestras estudiadas ya que comparten unas características bastante uniformes (**tipo 1**).

El conjunto de las inclusiones presenta un tamaño de grano uniforme, mayoritariamente de limo grueso (con un tamaño medio en torno a las 27 μm) y cuya proporción no supera el 10%. El diámetro máximo del desgrasante alcanza las 800 μm . Al igual que en el yacimiento anterior, la composición de las inclusiones es fundamentalmente cuarzo-feldespática junto con fragmentos de rocas cuarcíticas y carbonatadas y líticos areníticos presentando los mayores tamaños de grano. No se han observado fragmentos de rocas silexíticas.

La mayor parte de los fragmentos cerámicos analizados que proceden de los yacimientos pertenecientes a la localidad de Valdecebro (tanto *Los Vicarios* como *Lavadero-Escobares*), se caracterizan por presentar una matriz con un contenido elevado en óxidos de hierro-opacos por lo que muestran un color rojizo intenso, que se corrobora con un alto porcentaje de hematites analizado mediante DRX (Tabla 2). Además, presentan unos resultados respecto al análisis químico muy uniformes por lo que tienden a agruparse composicionalmente.

V. CONCLUSIONES

El estudio arqueométrico realizado mediante la utilización de distintas técnicas analíticas, ha permitido la caracterización y discriminación de las distintas producciones cerámicas. Los resultados obtenidos han llevado a la

distinción de 7 tipos de pastas cerámicas en los que se distingue una tecnología de producción especializada. Estos resultados corroboran la validez del planteamiento metodológico desarrollado en la investigación de otros alfares celtibéricos ubicados en el Sistema Ibérico Central (Igea *et al.* 2008: 44-55).

Por tanto, la estandarización del proceso de producción sería común a los doce centros celtibéricos. En este caso, se empleó una materia prima arcillosa illítico-moscovítica en la elaboración de las piezas, con proporciones variables de carbonatos y minerales de hierro.

La información combinada del estudio petrográfico y el análisis textural mediante tratamiento digital de imágenes evidencia que en estas pastas al igual que en las cerámicas procedentes de los otros centros ya analizados, no existe adición intencionada de desgrasantes. Más bien se produciría un machaqueo intencionado del sedimento para una correcta homogeneización de la materia prima, previo a un proceso de decantación de las arcillas. En el yacimiento de Cerrá La Viña

las diferencias granulométricas entre los dos tipos de pastas establecidos, podrían obedecer a la distinta manipulación de los barros de una misma materia prima.

Por otra parte, el estudio mineralógico revela unas condiciones de cocción con atmósfera oxidante que serían comunes a todas las pastas analizadas. Respecto a la temperatura de cocción, la formación incipiente de minerales progradados en la mayoría de las muestras indicaría una temperatura de cocción al menos superior de 800°C. En los yacimientos de Allueva II, Las Tejedas y Los Vicarios la detección complementaria de fases deshidroxiladas de filosilicatos (illita-moscovita) mediante DRX unido a las características birrefringentes de la matriz de las pastas, denotaría una temperatura de cocción que no superó los 950°C. Únicamente en los yacimientos de Las Veguillas (Ca-1, Ca-3) y Cerrá La Viña (AICV-3), se han reconocido pastas minoritarias que podrían haber superado este umbral de temperatura, o habrían estado expuestas a un mayor tiempo de cocción, e incluso para la muestra AICV-3 se ha evidenciado un proceso de sobrecocción.

BIBLIOGRAFÍA

- CULTRONE, G.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; SEBASTIÁN, E.; CAZALLA, O. y DE LA TORRE, M. J. 2001: "Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing". *European Journal of Mineralogy* 13: 621-634.
- IGEA, J.; LAPUENTE, P.; SAIZ, M.E.; BURILLO, F.; BASTIDA, J. y 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.
- JORDAN, M. M.; BOIX, A.; SANFELIU, T. y DE LA FUENTE, C. 1999: "Firing transformation of Cretaceous clays used in the manufacturing of ceramic tiles". *Applied Clay Science* 14: 225-234.
- LAPUENTE, P.; RAMÍREZ, M.P. y 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.
- LEGUEY, S.; CARRETERO, M. I.; FABBRI, B. y GALÁN, 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". *Boletín de la Sociedad Española de cerámica y vidrio* 40: 455-459.
- PÉREZ ARANTEGUI, J.; AGUAROD, C.; LAPUENTE, M.P.; FELIÚ, M.J. y PERNOT, M. 1996a: "Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos". *Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología IV* (10-24) SAET. Teruel.
- PÉREZ ARANTEGUI, J.; URUÑUELA, M. I. y CASTILLO, J. R. 1996b: "Roman Glazed Ceramics in the Western Mediterranean: Chemical characterization by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry of ceramic bodies". *Journal of Archaeological Science* 23 (6): 903-914.
- PETERS, T. y IBERG, R. 1978: "Mineralogical changes during firing of calcium rich brick clays". *American Ceramic Society Bulletin* 57: 503-509.
- SAIZ, M.E.; BURILLO, F.; IGEA, J.; LAPUENTE, P. y PÉREZ-ARANTEGUI, J. 2008: "Caracterización de los materiales cerámicos de alfares de época celtibérica del Sistema Ibérico Central". *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría* (Madrid, 2007): 265-276.

LAS PRODUCCIONES ALTOIMPERIALES DE TERRA SIGILLATA HISPANICA DORADA (TSHD) Y TERRA SIGILLATA HISPANICA (TSH) DE CLUNIA SEGÚN SU CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA

EARLY EMPIRE GOLDEN HISPANIC TERRA SIGILLATA (GHTS) AND HISPANIC TERRA SIGILLATA (HTS) PRODUCTION FROM CLUNIA AFTER THEIR ARCHAEOLOGICAL CHARACTERISATION

Jaume Buxeda i Garrigós (1) / Francisco Tuset Bertran (2)

(1) *Cultura Material i Arqueometria UB (ARQ|UB) (GRACPE), Dpto. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona*

(2) *Yacimiento Arqueológico Colonia Clunia Sulpicia, Diputación Provincial de Burgos (Peñalba de Castro, Burgos)*

Dpto. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona

RESUMEN: La ciudad romana de Clunia constituye uno de los yacimientos principales de época romana en la Meseta y sus excavaciones han proporcionado una secuencia que permite trazar un esquema básico de las producciones cerámicas que, desde época altoimperial hasta el Bajo Imperio, aparecen en esta área. El presente trabajo aborda la caracterización arqueométrica de la Terra Sigillata Hispanica Dorada (TSHD) y de la Terra Sigillata Hispanica (TSH), altoimperial, mediante Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido. Los resultados muestran una gran diversidad de producciones dentro de la TSHD, así como una menor diversidad en la TSH. Además, se constata que prácticamente no existe relación entre ambos tipos, entre los cuales existen importantes diferencias tecnológicas.

SUMMARY: The Roman town of Clunia is one of the main Roman sites in the Meseta. Here, the archaeological excavations have revealed an important sequence of pottery productions from the Early Empire to the Late Empire, which is relevant for the whole area of central Iberian Peninsula. The present study is devoted to the Golden Hispanic Terra Sigillata (GHTS) and to the Hispanic Terra Sigillata (HTS), dated back to the Early Empire. The sampled individuals have been characterized by X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, and Scanning Electron Microscopy. The results exhibit a high diversity of GHTS productions, as well as a lower diversity of HTS ones. Moreover, it appears to exist almost no relation between both types, neither from the technological point of view.

PALABRAS CLAVE: Clunia, Terra Sigillata Hispanica Dorada, Terra Sigillata Hispanica, fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido.

Key words: Clunia, Golden Hispanic Terra Sigillata, Hispanic Terra Sigillata, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, Scanning Electron Microscopy.

I. INTRODUCCIÓN

La *Colonia Clunia Sulpicia*, Clunia, se encuentra en el valle del Duero, en la actual población de Peñalba de Castro (Burgos) y fue la capital del *Conventus Iuridicus* de Clunia en la provincia romana de la *Tarraconensis* (Palol 1994). Fundada probablemente durante el gobierno de Augusto, a fines del s. I a. C., aunque los restos arqueológicos se remontan únicamente a la primera mitad del s. I d. C., fue declarada Colonia posiblemente bajo el

gobierno de Galba (el 68 d. C.), siendo deshabitada en el s. VI.

Las excavaciones en esta ciudad han permitido revelar la presencia de la Terra Sigillata Hispanica (TSH) altoimperial en conjuntos datados desde el último cuarto del s. I d. C. hasta mediados del s. II, momento en que es substituida por la Terra Sigillata Hispanica Avanzada (TSHA), que extenderá su presencia hasta finales del s. III¹. Paralelamente, asociada a la producción de TSH

¹ El estudio arqueológico de estos materiales corresponde a la Tesis Doctoral inédita: Tuset Bertran, F. 1991: *La Terra Sigillata de Clunia. Una propuesta metodológica para el estudio de las producciones altoimperiales*. Vol. I Texto, Vol. II Ilustraciones. Tesis Doctoral. Barcelona.

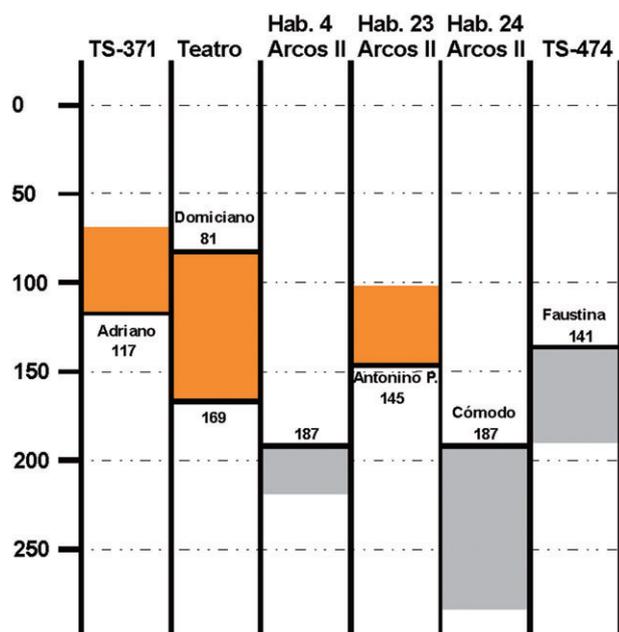


Fig. 1. Contextos de procedencia de los materiales analizados, con su posible datación.

aparece, en general, la Terra Sigillata Hispanica Dorada (TSHD), que parece así compartir cronología con la TSH. Sin embargo, esta última producción, que presenta unas características muy particulares que la diferencian claramente de la Terra Sigillata, sigue siendo hasta el presente uno de los tipos cerámicos menos conocidos de la arqueología romana peninsular. A grandes rasgos, la TSHD se caracteriza por la presencia de un barniz brillante de color dorado o avellana que le ha valido como base para las múltiples denominaciones que ha recibido tradicionalmente (Fernández y Zorzalejos 2008) y que, en el caso de Clunia, le ha llevado de su denominación inicial de Dorada cluniense a la actual de TSHD (ver nota 1).

La existencia de unos contextos que permitían esbozar esta sucesión de producciones en un yacimiento significativo de la Meseta llevó a la elaboración de un amplio programa de caracterización arqueométrica para poder determinar los centros productores, así como la tecnología empleada en su fabricación, que pudiera servir de esquema vertebrador para un mejor conocimiento arqueológico de la cerámica romana altoimperial, hasta fines del s. III. En unos primeros resultados sobre la producción de TSHA se comprobó la existencia mayoritaria de importaciones del valle del

Ebro, de los talleres de Tricio, junto con otras producciones, minoritarias, pero significativas, que se asociaban con el valle del Duero (Buxeda 1995; Tuset y Buxeda 1995). Posteriormente, dentro de este programa arqueométrico, se procedió a la caracterización de la producción de la cerámica de tradición celtibérica del taller cluniense de Los Pedregales, ya que constituía una producción de segura manufactura local. Este taller había sido ya descubierto en 1915-1916, cuando se encontró un testar en el lugar conocido como Los Pedregales, que le dio nombre, y fue excavado en 1958 y en 1967-68, fechándose su período de actividad en los s. I-II d. C. Los resultados de su caracterización arqueométrica mostraron la existencia de tres producciones diferenciadas únicamente por sus contenidos de calcio, pero siempre dentro del grupo tecnológico de la cerámicas calcáreas (Buxeda *et al.* 2005). En este sentido, las cerámicas de Los Pedregales presentaban diferencias significativas respecto de la TSHA, y especialmente de las producciones asociadas con el valle del Duero, tecnológicamente pertenecientes a las cerámicas poco calcáreas, pero a pesar de ello mostraban unos valores de magnesio significativamente bajos, lo que parece ser una constante en las producciones cerámicas romanas del valle del Duero.

Así, el presente trabajo presenta los resultados sobre las producciones restantes altoimperiales, la TSHD y la TSH, que han de permitir vertebrar este primer esquema sobre las producciones cerámicas en la zona central de la Península Ibérica.

II. MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para el presente estudio, se procedió a tomar una muestra de veinticuatro individuos de TSHD y cincuenta y tres de TSH (Tabla 1), procedentes de diferentes contextos arqueológicos. A grandes rasgos, estos contextos son el TS-371, el Teatro y la habitación 23 del conjunto termal de los Arcos II (Figura 1). Estos conjuntos, fechados de último cuarto del s. I a mediados de s. II son los conjuntos donde la TSHD y la TSH aparecen como materiales de circulación, si bien el conjunto TS-371 carece en absoluto de TSHD. Paralelamente, los conjuntos de las habitaciones 4 y 24 de los Arcos

Contextos		1-1	1-2	Out-1	O-PL	G1	Ebro	O-44	G2	157	Total
TS-371	TSHD										
	TSH					1	15				16
Teatro	TSHD	9	2	2	1			1	3		18
	TSH					3	15		1		19
Arcos II	TSHD	1	2				1				4
	TSH						16		1	1	18
TS-474	TSHD	1	1								2
	TSH										
Total	TSHD	11	5	2	1		1	1	3		24
	TSH					4	46		2	1	53

Tabla 1. Tabla de individuos incluidos en la muestra según su tipo (TSHD o TSH) y el contexto de su procedencia. La clasificación se da en las agrupaciones definidas en el trabajo arqueométrico.

II y el TS-474, de segunda mitad de s. II – s. III, corresponden a los niveles de irrupción de la TSHA, que dominará totalmente estos conjuntos, en los cuales la presencia de TSHD y TSH parece corresponder a materiales ya residuales (ver nota 1).

Para su caracterización arqueométrica, todos los individuos fueron mecánicamente desprendidos de sus capas superficiales, siendo posteriormente pulverizados y homogeneizados mediante un molino de bolas con celda de carburo de tungsteno. La composición química del material se determinó por Fluorescencia de Rayos X (FRX) a partir del polvo secado previamente en una estufa a 105 °C durante 12 h. Para la determinación de los elementos mayores y menores, se hicieron preparaciones de perlas de 30 mm de diámetro, utilizando 0.3 g de espécimen en fusión alcalina con 5.7 g de tetraborato de litio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) (dilución 1/20) en un horno de inducción de alta frecuencia Phillips Perl'X-2 a una temperatura máxima de 1125 °C. Para la determinación de los elementos traza y el sodio, se hicieron preparaciones de pastillas a partir del espécimen anteriormente preparado, seco y de tamaño de grano < 80 μm , mezclado con 2 ml de una solución de resina sintética n-butylmetracrilato (Elvacite 2044, en 20 % de acetona). Esta mezcla, homogeneizada manualmente en un mortero de ágata hasta la sequedad, y depositado sobre una base de ácido bórico (H_3BO_3) en un recipiente de aluminio de 40 mm de diámetro, fue sometida a una presión de 40 kN durante 60 s en una prensa Herzog. La cuantificación se realizó con un espectrofotómetro Philips

PW 1400, con fuente de excitación de Rh y Au, utilizando una recta de calibración configurada con 60 patrones (Estándares Geológicos Internacionales). Así, se determinaron las concentraciones de: Fe_2O_3 (como Fe total), Al_2O_3 , MnO, P_2O_5 , TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni y Cr. Igualmente se calculó la pérdida al fuego (PAF) a partir de calcinaciones a 950 °C durante 3 h de 0.3 g de los especímenes secos (Buxeda 1995).

La composición mineralógica de todos los individuos fue estudiada mediante Difracción de Rayos X (DRX) utilizando el método de polvo a partir de los especímenes preparados con anterioridad. Se utilizó un difractómetro Siemens D 500 trabajando con la radiación $\text{K}\alpha$ del Cu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), con un monocromador de grafito en el haz difractado y una potencia de trabajo de 1.2 kW (40 kV, 30 mA). Las mediciones se realizaron entre (4 y 70) $^\circ 2\theta$ con un tamaño de paso de $0.05^\circ 2\theta$ y un tiempo de 3 s. Las evaluaciones de las fases cristalinas presentes se han realizado mediante el paquete de programas DIFFRAC/AT de Siemens que incluye el banco de datos del *International Centre for Diffraction Data-Joint Committee of Powder Diffraction Standard*, 2006 (ICDD-JCPDS).

Una selección de individuos de TSHD fue anteriormente analizada por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para su caracterización tecnológica. Se hicieron preparaciones de fracturas frescas, transversales al sentido del modelado, para la observación de la microestructura y el estado de

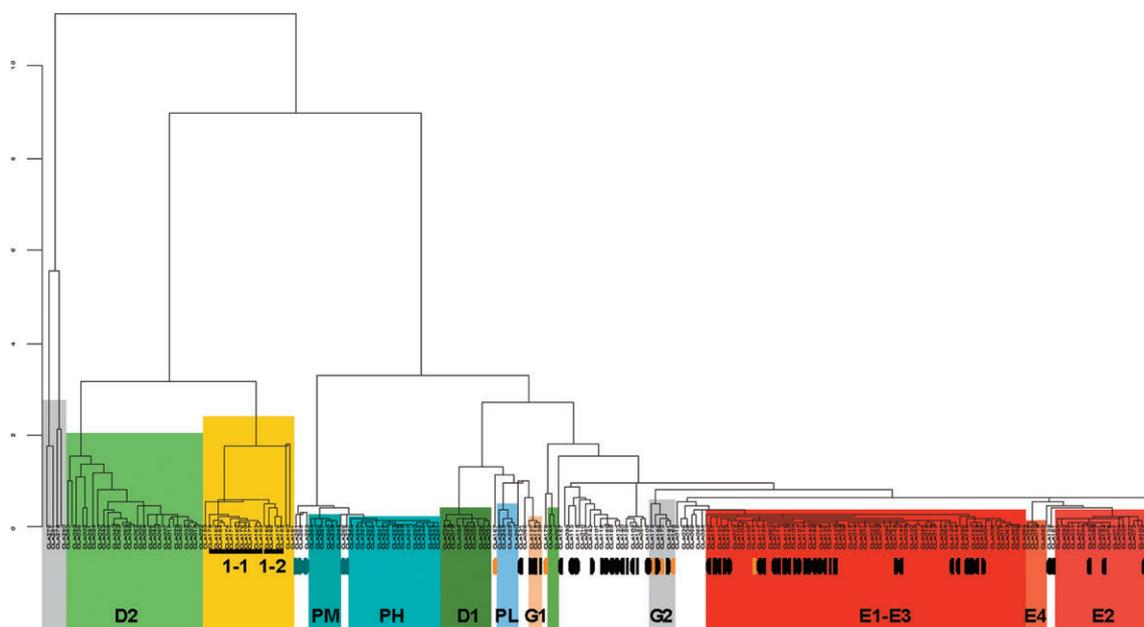


Fig. 2. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados tras la transformación CLR.

sinterización, empleando un microscopio Jeol JSM-840. Igualmente, se hicieron preparaciones de secciones pulidas para su observación con detector de electrones retrodispersados y su microanálisis por dispersión de energías de rayos X, empleando un microscopio Stereoscan S-360 acoplado a un analizador INCA Energy Serie 200 de Oxford Instruments. Los especímenes fueron recubiertos con carbono y las observaciones se realizaron trabajando a 20 kV y 1 nA.

III. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Los resultados del análisis químico por FRX corresponden a un caso especial del espacio proyectivo $d+1$ -dimensional, el simplex S^d , en el cual los puntos proyectivos están representados por coordenadas homogéneas que tienen una suma constante y cuyo espacio vectorial es el ortante positivo, siguiendo un modelo multiplicativo con una métrica de intervalos logarítmicos (Barceló-Vidal *et al.* 2001; Aitchison 2005; Buxeda 2008). Debido a ello, para su tratamiento estadístico los datos se han transformado utilizando la transformación CLR en logaritmos de razones centrados (Aitchison 1986; Buxeda 1999).

Para el tratamiento estadístico, los componentes Mo y Sn no han sido considerados por in-

determinaciones e imprecisiones analíticas, mientras que los componentes W y Co han sido excluidos por posibles contaminaciones derivadas del proceso de pulverización. Tampoco no ha sido considerado el valor de la pérdida al fuego.

Como resumen del tratamiento estadístico presentamos el dendrograma resultante del análisis de conglomerados realizado sobre la subcomposición retenida, exceptuando el P_2O_5 , el Pb y el Cu por posibles contaminaciones, con transformación CLR, empleando la distancia euclídea al cuadrado y el algoritmo aglomerativo del centroide. El dendrograma (Figura 2) incluye los individuos del banco de datos comparativos existente para Clunia, que incluye ciento seis individuos de TSHA, treinta y tres del taller de Los Pedregales y cuatro muestras de arcillas. El estudio de los resultados permite reconocer las agrupaciones o unidades de referencia composicional de pasta (URCP) (Tabla 1) E1-E3, E2 y E4 de TSHA, asociadas con el valle del Ebro y, en concreto, con el conjunto de Tricio, las URCP de TSHA D1 y D2, asociadas con el valle del Duero, y los grupos de referencia (GR) PL, PM y PH, del taller de Los Pedregales.

Indicados en amarillo figuran los individuos pertenecientes a la TSHD. Su observación permite reconocer dos agrupaciones principales 1-1 y 1-2,

	1-1 (n=11)		1-2 (n=4)		G1 (n=3)		G2 (n=5)	
	Media	DesvEst	Media	DesvEst	Media	DesvEst	Media	DesvEst
Fe ₂ O ₃ (%)	3.74	0.15	4.21	0.13	5.01	0.19	5.49	0.33
Al ₂ O ₃ (%)	20.85	1.22	21.62	2.10	18.36	0.81	20.33	0.50
MnO (%)	0.02	0.00	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01
P ₂ O ₅ (%)	0.13	0.01	0.16	0.03	0.42	0.17	0.27	0.11
TiO ₂ (%)	0.90	0.04	0.86	0.03	0.79	0.04	0.85	0.04
MgO (%)	0.64	0.07	0.87	0.05	1.07	0.12	2.28	0.21
CaO (%)	1.00	0.25	0.83	0.14	9.60	0.91	8.82	2.23
Na ₂ O (%)	0.38	0.05	0.41	0.06	0.26	0.00	0.35	0.05
K ₂ O (%)	1.94	0.09	2.60	0.12	3.86	0.14	4.50	0.20
SiO ₂ (%)	70.30	1.27	68.29	2.06	60.45	0.41	56.91	1.53
Ba (ppm)	208	26	304	17	511	70	484	57
Rb (ppm)	88	6	132	10	191	13	204	7
Nb (ppm)	20	2	20	1	18	1	18	0
Pb (ppm)	34	10	37	5	25	3	50	55
Zr (ppm)	253	18	247	35	198	6	156	4
Y (ppm)	24	1	26	3	27	2	28	1
Sr (ppm)	67	4	83	13	123	8	290	42
Ce (ppm)	60	6	107	23	71	6	65	6
Ga (ppm)	29	2	31	4	23	2	26	0
V (ppm)	63	2	71	7	69	6	101	7
Zn (ppm)	30	4	35	2	79	10	67	1
Cu (ppm)	16	10	22	24	20	1	32	9
Ni (ppm)	12	1	13	0	29	2	41	2
Cr (ppm)	79	8	77	8	73	2	100	7

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de las URCP definidas en este estudio. DesvEst: desviación estándar; ppm: partes por millón.

con dos individuos de composiciones similares, pero que también podrían pertenecer a otras URCP (indicados como Out-1 en la Tabla 1). Igualmente, se observa como 3 individuos de TSHD, junto con dos individuos de TSH, forman la URCP G2, mientras que dos individuos aparecen como mal clasificados, pudiendo pertenecer cada uno de ellos a una URCP diferente (indicados como O-PL y O-44 en la Tabla 1) y, finalmente, un último individuo, que pertenece a la URCP E1-E3, de Tricio.

En el caso de la TSH, indicados en negro (Figura 2 y Tabla 1), cabe destacar que prácticamente todos los individuos se asocian a las producciones del valle del Ebro, mientras dos individuos conforman, junto a tres individuos de TSHD, la URCP G2 y cuatro individuos conforman la URCP G1.

Los resultados de la caracterización química muestran, pues, una gran diversidad de producciones de TSHD, hasta 8, sin que guarden ninguna relación con la TSH, la TSHA o las producciones de Los Pedregales. Las únicas excepciones se dan en un individuo que se asocia con la URCP E1-E3, de

Tricio, y que, en realidad, podría tratarse de una TSH de forma Hisp. 19 y no de una TSHD, y la URCP G2, que es la única agrupación que incluye individuos de TSH y de TSHD. Además, la mayor parte de las URCP de TSHD (1-1, 1-2, Out-P y O-PL, esta última formada por un individuo que, en realidad, también podría corresponder a una TSH forma Hisp. 19) se asocian con un posible origen en el valle del Duero, mientras que las URCP O-44 y G2, además del individuo asociado a E1-E3, parecen corresponder a producciones de posible origen en el valle del Ebro. Esta situación es completamente diferente de la que ofrece la TSH contemporánea, ya que existe un número muy inferior de agrupaciones representadas y además éstas se asocian a un origen en el valle del Ebro, con la única posible excepción de la URCP G1, de posible origen en el valle del Duero.

IV. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROESTRUCTURAL

Los resultados de la caracterización química muestran que las producciones de TSHD del valle

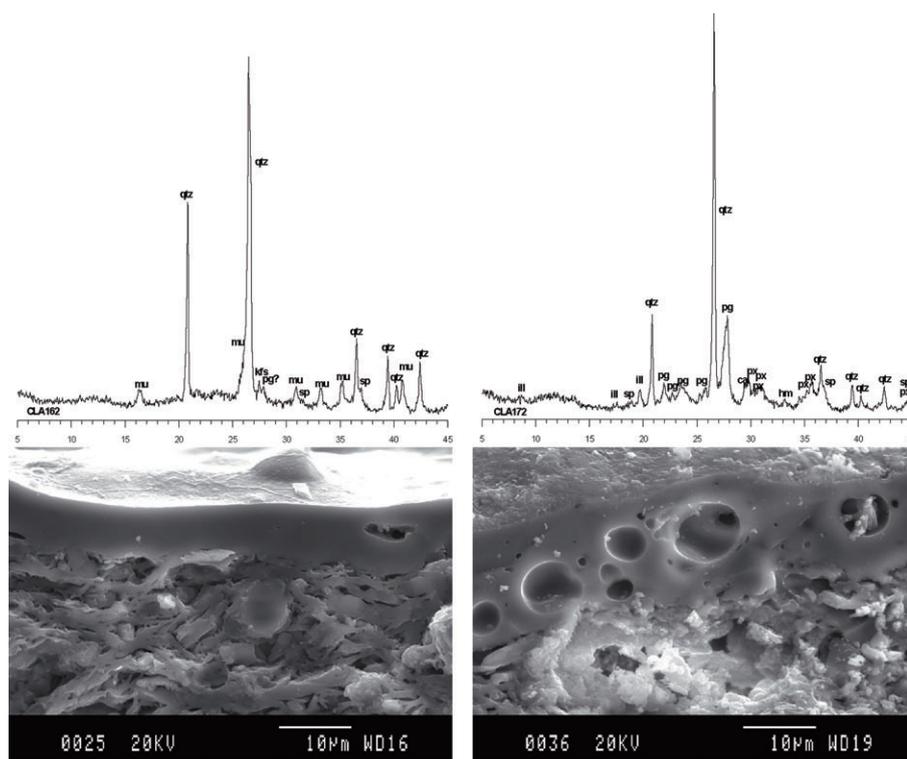


Fig. 3. Superior izquierda: difractograma típico de las producciones de TSHD poco calcáreas. Inferior izquierda: microfotografía de MEB mostrando una matriz con una microestructura densa y vitrificada y un barniz bien vitrificado. Superior derecha: difractograma típico de la producción calcárea de TSHD G2. Inferior derecha: microfotografía de MEB mostrando un típico barniz de mala calidad, con gran presencia de poros circulares. cal: calcita; hm: hematites; ill: illita-moscovita; kfs: feldespatos alcalinos; mu: mullita; pg: plagioclasa; px: piroxeno; qtz: cuarzo; sp: espinela.

del Duero (1-1, 1-2 y Out-1), con la excepción de O-PL (posible Hisp. 19 de TSH), pertenecen a producciones poco calcáreas ($\text{CaO} < (5-6) \%$), algo que provoca significativas diferencias tecnológicas con las cerámicas calcáreas, tanto en términos de microestructura como de propiedades mecánicas y de evolución de fases de cocción (Maniatis *et al.* 1981; Tite *et al.* 1982; Maggetti 1981). Este hecho representa por sí solo una diferenciación altamente significativa con la tecnología de la TSH, pero también de la cerámica de Los Pedregales, ya que toda la TSH de Clunia, con posible origen en el valle del Ebro o del Duero, así como la cerámica de tradición celtibérica de Los Pedregales, corresponde a producciones calcáreas. Cabe destacar que, a diferencia de la TSHD del valle del Duero, la TSH posiblemente asociada con el valle del Duero corresponde ella también a producciones de cerámica calcárea (Tabla 2).

El estudio por DRX y MEB ha permitido, además, comprobar como la mayor parte de los individuos de TSHD de las producciones del valle del

Duero presentan altas temperaturas de cocción, con barnices de calidad y, generalmente, bien vitrificados. Así, la DRX muestra generalmente la total descomposición de los filosilicatos de las illitas-moscovitas, junto a la presencia de mullita (Figura 3, superior izquierda), mientras que la microestructura se presenta vitrificada y con barnices igualmente bien vitrificados (Figura 3, inferior izquierda). Contrariamente, las URCP de TSHD calcáreas presentan una mayor dispersión de temperaturas, con fases de cocción típicamente calcáreas (Figura 3, superior derecha), pero con barnices de mala calidad, con una gran presencia de porosidad (Figura 3, inferior derecha). Finalmente, la TSH presenta generalmente altas temperaturas de cocción, con presencia de las fases de cocción típicas de las producciones calcáreas.

Estos resultados permiten sugerir que la TSHD presenta una tecnología de producción completamente diferente del resto de producciones altoimperiales, con un uso de pastas poco calcáreas, cocidas a altas temperaturas, consiguiendo barni-

cen la tecnología de producción y que, por tanto, encuentran obstáculos insalvables para conseguir un producto de alta calidad. Esta posibilidad viene además reforzada por el hecho que la URCP G2, de posible origen en el valle del Ebro, es la única que presenta una producción conjunta de TSH, que es de buena calidad, y de TSHD, de mala calidad.

Estos resultados, pues, permiten plantear la posibilidad que la producción de TSHD sea un fenómeno típico del valle del Duero, o de la Meseta, con unos centros de producción y una tecnología

completamente diferente de la TSH altoimperial. La confirmación de estos aspectos, pero, necesitará de la extensión de estos estudios a otros centros peninsulares que puedan ofrecer la necesaria amplitud para observar un fenómeno tan complejo y aún tan poco conocido.

AGRADECIMIENTOS

Los análisis de Fluorescencia de Rayos-X, Difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido se han realizado en los Serveis Científico-tècnics de la Universitat de Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

- AITCHISON, J. 1986: *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman and Hall. London.
- AITCHISON, J. 2005: *A concise guide to compositional data analysis. 2nd Compositional Data Analysis Workshop – CoDaWork'05*. Universitat de Girona. Girona.
- BARCELÓ-VIDAL, C.; MARTÍN-FERNÁNDEZ, J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. 2001: "Mathematical foundations of compositional data analysis". En G. Ross (ed.): *Proceedings of IAMG'01-The annual meeting of the International Association for Mathematical Geology, 6-12 September 2001*. Cancún, México: 1-20.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1995: *La caracterització arqueomètrica de la Terra Sigillata Hispanica Avanzada de la ciutat romana de Clunia i la seva contrastació amb la Terra Sigillata Hispanica d'un centre productor contemporani, el taller d'Abella*. Col·lecció de Tesis Doctorals Microfitxades UB 2524. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1999: "Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: the Perturbation Problem". *Journal of Archaeological Science* 26: 295-313.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2008: "Revisiting the compositional data. Some fundamental questions and new prospects in Archaeometry and Archaeology". En J. Daunis-i-Estadella y J. Martín-Fernández (eds.): *Proceedings of CO-DAWORK'08. The 3rd Compositional Data Analysis Workshop. May 27-30*. University of Girona. Girona: 1-18.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J.; IÑÁÑEZ, J. GARCÍA y TUSET I BERTRAN, F. 2005: "Pedregales: a coarse ware workshop of Celtiberian tradition at the Roman town of Clunia (Peñalba de Castro, Burgos, Spain)". En M.I. Prudêncio, M.I. Dias y J.C. Waerenborgh (eds.): *Understanding people through their pottery*. Trabalhos de Arqueologia 42. Instituto Português de Arqueologia. Lisboa: 19-25.
- FERNÁNDEZ OCHOA, C. y ZARZALEJOS PRIETO, M. 2008: "Terra Sigillata Hispanica Brillante (TSHB)". En D. Bernal Casasola y A. Ribera i Lacomba (eds.): *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. Cádiz: 333-342.
- MAGGETTI, M. 1981: "Composition of Roman pottery from Lousonna (Switzerland)". En M. Hughes (ed.): *Scientific studies in ancient ceramics*. British Museum Occasional Paper 19. British Museum. London: 33-49.
- 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.
- PALOL SALELLAS, P. DE 1994: *Clunia. Historia de la ciudad y guía de las excavaciones*. Diputación Provincial de Burgos. Junta de Castilla y León. Burgos.
- TITE, M.S.; MANIATIS, Y.; MEEKS, N.; BIMSON, M.; HUGHES, M. y LEPPARD, S. 1982: "Technological Studies of Ancient Ceramics from the Near East, Aegean and Southeast Europe". En T. Wertime y S. Wertime (eds.): *The evolution of the first fire-using industries*. Smithsonian Institution Press. Washington: 61-71.
- TUSET I BERTRAN, F. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1995: "La cerámica Terra Sigillata Hispanica Avanzada (TSHA) de Clunia: segunda mitad del s. II – s. III d. C.". *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 35: 355-367.

LOS TALLERES DE FABRICACIÓN DE MAYÓLICA DE OBRADORS/SANT ANASTASI Y REMOLINS DE LA CIUDAD DE LLEIDA (S. XVI-XVII) A TRAVÉS DE SU CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA

THE MAJOLICA WORKSHOPS OF OBRADORS/SANT ANASTASI AND REMOLINS IN THE TOWN OF LLEIDA (16TH-17TH CENTURIES) AFTER THEIR ARCHAEOMETRIC CHARACTERISATION

Jaume Buxeda i Garrigós (1) / Javier García Iñáñez (1, 2)

(1) *Cultura Material i Arqueometria UB (ARQ|UB) (GRACPE)*

Dpto. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona

(2) *Museum Conservation Institute (MCI), Smithsonian Institution*

RESUMEN: Desde finales de los años 80 del pasado siglo, las excavaciones arqueológicas han sacado a la luz los restos de diversos talleres de producción de mayólica de la ciudad de Lleida, fechados en los siglos XVI y XVII. El presente trabajo aborda su caracterización arqueométrica por Fluorescencia de Rayos X, Activación Neutrónica y Difracción de Rayos X. Los resultados muestran las diferencias existentes entre los talleres del siglo XVI y del siglo XVII, que parece corresponderse con un cambio más profundo, dentro de lo que parece una mayor especialización en la producción de este tipo cerámico.

SUMMARY: The remains of several majolica production workshops have been unearthed by archaeologists, since the end of the 80s of the last century. Those workshops are dated back to the 16th and 17th centuries. Thus, an archaeometric programme has been conducted in order to get a better understanding. Several shards have been characterized by X-Ray Fluorescence, Neutron Activation, and X-Ray Diffraction. The results highlight the differences between 16th and 17th centuries productions. These differences seem to reflect a deeper transformation in the process for a higher specialization in majolica production.

PALABRAS CLAVE: Lleida, mayólica, fluorescencia de rayos X, activación neutrónica, difracción de rayos X.

KEY WORDS: Lleida, majolica, X-ray fluorescence, neutron activation, X-ray diffraction.

I. INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre la producción cerámica en época moderna en la ciudad de Lleida se basaba en la evidencia documental y en los topónimos existentes, o conservados, en las calles de la actual ciudad (Lladonosa 1961; Gil *et al.* 2002). Tradicionalmente se consideraba el barrio de Sant Llorenç, en la zona sur de la ciudad, de población más tardía y dispersa, como la zona de tradición ceramista, ya desde el siglo XII. En este sentido, se explicaban la existencia en este barrio de los topónimos Obradors (Talleres) y Escudellers (Loceros), actualmente Sant Anastasi.

No sería, sin embargo, hasta el año 1986, cuando se llevó a cabo una primera excavación arqueológica en esta zona, que revelaría los restos de esta actividad artesana. En esta ocasión, pro-

vechando las obras de pavimentación de la calle Sant Anastasi (antigua Escudellers), se descubrió un depósito cerámico, interpretado como un testar de los talleres de mayólica (loza) de la ciudad. A raíz de este descubrimiento, en 1989-1990 se excavó el solar contiguo, conocido como el Pati d'en Miqueló, entre las calles Sant Anastasi y Obradors (Figura 1), hallándose estructuras de dos hornos cerámicos, muy arrasadas, así como gran abundancia de materiales relacionados con la producción cerámica (mayólicas, herramientas de horno, trípodes, etc.), que se fechaban en el S. XVII, sin que fuera posible una mayor concreción (Lorient y Oliver 1991).

Inesperadamente, en 1998, durante la realización de unas excavaciones arqueológicas en el solar del número 19 de la calle Cardenal Remolins (Figura 1), al norte de la ciudad, se descubrieron



Fig. 1. Plano de la ciudad de Lleida con entramado correspondiente a la ciudad de época moderna. OB/SA: situación de los talleres de Obradors-Sant Anastasi. REM: situación de los talleres de Remolins.

los restos de un horno cerámico de tipo moruno, con una cámara de cocción baja, o sagén, en donde se colocarían las piezas pequeñas, al nivel de la caldera, y una segunda, alta, no conservada. Los abundantes materiales aparecidos permitieron fechar la actividad de este taller entre 1550 y el primer cuarto del S. XVII (Bardina 2000).

Finalmente, el año 2004, otra excavación arqueológica en la calle Obradors, aún inédita, reveló lo que constituía la continuación del centro productor documentado anteriormente en el solar del Pati d'en Miqueló, completando la visión que actualmente tenemos de este centro de Obradors-Sant Anastasi.

II. MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para la caracterización arqueométrica de las mayólicas producidas en los citados centros, se procedió a tomar una muestra de once individuos procedentes de la excavación de la calle Cardenal Remolins, de 1998, así como nueve individuos de la excavación de 1986 del vial de Sant Anastasi y diez individuos de la excavación de 2004 de la calle Obradors, totalizando un conjunto de treinta individuos (Tabla 1, Figura 2).

Yacimiento	Decoraciones				Total
	Azul	Azul y verde	Polícroma	Sin decoración	
Remolins	9	-	-	2	11
Obradors	4		1	5	10
St. Anastasi	8	1	-	-	9
Total	21	1	1	7	30

Tabla 1. Cuadro resumen de los individuos analizados.



Fig. 2. Arriba, izquierda: individuo MJ0389 de Remolins. Arriba, derecha: individuo MJ0391 de Remolins. Abajo, izquierda: individuo MJ0308 de Sant Anastasi. Abajo, derecha: individuo MJ0295 de Sant Anastasi.

Todos los individuos fueron analizados por Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX), y 5 individuos de cada excavación, un total de 15, fueron ulteriormente analizados por Activación Neutrónica (AN). Una descripción completa y detallada de las rutinas analíticas empleadas ha sido ya publicada anteriormente (Iñáñez 2007).

III. RESULTADOS ANALÍTICOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis químico por FRX corresponden a un caso especial del espacio proyectivo $d+1$ -dimensional, el simplex S^d , en el cual los puntos proyectivos están representados por coordenadas homogéneas que tienen una suma constante y cuyo espacio vectorial es el ortante positivo, siguiendo un modelo multiplicativo con una métrica de intervalos logarítmicos (Barceló-Vidal *et al.* 2001; Aitchison 2005; Buxeda 2008). Debido a ello, para su tratamiento estadístico los datos se

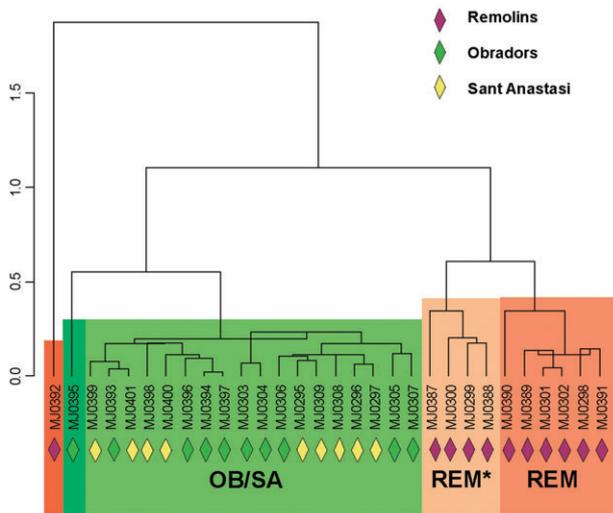


Fig. 3. Dendrograma del análisis de agrupamiento sobre los datos de FRX para los 30 individuos caracterizados. OB/SA: Obradors-Sant Anastasi; REM: Remolins; REM*: Remolins con alteraciones significativas.

han transformado utilizando la transformación CLR en logaritmos de razones centrados (Aitchison 1986; Buxeda 1999).

Para el tratamiento estadístico, los componentes Mo y Sn no han sido considerados por indeterminaciones e imprecisiones analíticas, mientras que los componentes W y Co han sido excluidos por posibles contaminaciones derivadas del proceso de pulverización. Tampoco no ha sido considerado el valor de la pérdida al fuego.

Como resumen del tratamiento estadístico se puede observar el resultado del análisis de agrupamiento realizado con el programa S-Plus (MathSoft 1999), utilizando la distancia euclidiana al cuadrado, con el algoritmo aglomerativo del centroide, sobre la subcomposición Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Nb, Zr, Sr, Ce, V, Zn, Ni y Cr, con transformación CLR, de los datos obtenidos por FRX. El estudio del dendrograma resultante (Figura 3) muestra la existencia de dos agrupaciones principales que se corresponden por un lado con los individuos procedentes de la zona de talleres encontrada en las excavaciones de Obradors y Sant Anastasi (indicada como OB/SA en la Figura 3), y por otro lado los individuos procedentes del taller encontrado en las excavaciones de Remolins (indicado como

REM en la Figura 3). Estos resultados muestran claramente las diferencias existentes entre los talleres del S. XVI, de Remolins, y los posteriores del S. XVII, de Obradors-Sant Anastasi. Una mirada más atenta al dendrograma muestra que una parte importante de los individuos que forman el grupo de referencia REM presentan diferencias composicionales significativas, formando un grupo a parte indicado como REM* (Figura 3). Estas diferencias son debidas a la existencia de un doble proceso de alteración durante el período de deposición, que afecta especialmente a las cerámicas calcáreas cocidas a altas temperaturas. En estos casos, es posible que durante el período postdeposicional se produzca una alteración de la fase vítrea, que provocaría la lixiviación del potasio. Sobre esta fase vítrea alterada, cristalizaría, como fase secundaria, la analcima, una zeolita sódica que fijaría sodio alóctono en la cerámica (Buxeda 1999; Schwedt *et al.* 2006).

Es fácil observar, pues, que los individuos afectados por este doble proceso de alteración son los que se incluyen en el grupo REM*. Únicamente el individuo MJ0392 ocupa una posición totalmente marginal en el dendrograma de la Figura 3, debido a que los procesos de alteración han sido especialmente severos en este individuo. Este

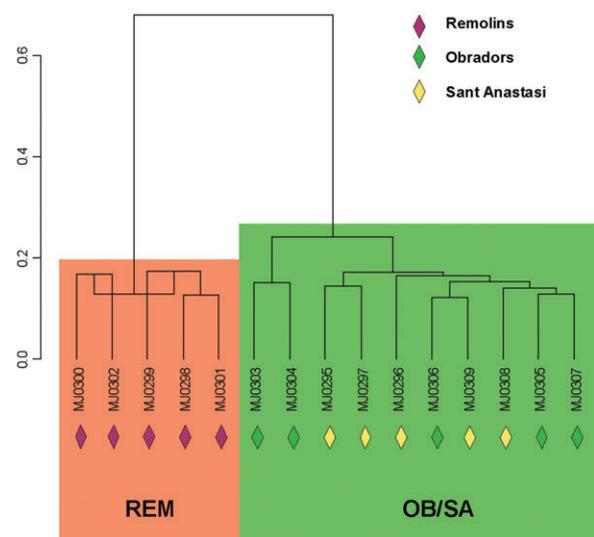


Fig. 4. Dendrograma del análisis de agrupamiento sobre los datos de AN para los 15 individuos caracterizados. OB/SA: Obradors-Sant Anastasi; REM: Remolins.

FRX	REM		OB/SA		TSH-LLEIDA	
	Media	s	Media	s	Media	s
Fe ₂ O ₃ (%)	7.10	0.33	5.74	0.42	7.24	0.32
Al ₂ O ₃ (%)	20.07	0.98	16.39	0.95	20.29	0.91
MnO (%)	0.08	0.004	0.08	0.01	0.09	0.01
P ₂ O ₅ (%)	0.18	0.02	0.18	0.04	0.28	0.07
TiO ₂ (%)	0.76	0.02	0.69	0.03	0.85	0.03
MgO (%)	2.64	0.11	2.58	0.18	2.93	0.19
CaO (%)	13.82	2.79	22.46	2.54	9.71	1.26
Na ₂ O (%)	1.26 (0.93) ^a	0.48 (0.22) ^a	0.55 (0.53) ^b	0.12 (0.08) ^b	1.30	0.35
K ₂ O (%)	3.60 (4.36) ^a	0.98 (0.12) ^a	2.74 (2.77) ^b	0.40 (0.39) ^b	4.20	0.15
SiO ₂ (%)	50.29	1.07	48.44	0.98	52.94	1.00
Ba (µg/g)	595	65	379	46	504	48
Nb (µg/g)	19	1	18	1	18	1
Zr (µg/g)	132	5	137	7	136	7
Sr (µg/g)	651	149	549	55	366	56
Ce (µg/g)	65	5	59	7	70	7
V (µg/g)	135	9	95	6	144	12
Zn (µg/g)	142	13	103	10	151	7
Ni (µg/g)	57	6	46	5	50	3
Cr (µg/g)	82	10	65	12	88	3

Tabla 2. Media y desviación estándar (s) de los 30 individuos analizados por FRX diferenciados de acuerdo a los grupos químicos propuestos, además del grupo de TSH de Lleida. a) media y desviación estándar de los individuos del grupo REM sin tener en cuenta para su cálculo aquellos individuos con presencia de analcima en sus difractogramas. b) Media y desviación de los individuos del grupo OB/SA sin tener en cuenta para su cálculo el individuo MJ0395.

doble proceso de alteración se da con menor intensidad en algunos individuos del grupo de referencia OB/SA, tan sólo destacándose en el individuo MJ0395, que ocupa así una posición marginal en este grupo (Figura 3).

Esta estructura básica en dos grupos, REM y OB/SA, también se observa a través de los datos de AN. En este caso, el resultado del análisis de agrupamiento realizado también con el programa S-Plus (MathSoft 1999), utilizando la distancia euclidiana al cuadrado, con el algoritmo aglomerativo del centroide, sobre la subcomposición Al, Ba, Ca, Dy, Mn, Ti, V, La, Lu, Nd, Sm, U, Yb Ce, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Sc, Ta, Tb, Th, Zn y Zr, con transformación CLR, ofrece un dendrograma (Figura 4) en el cual los dos grupos se presentan cada uno como químicamente homogéneos, ya que no se ha considerado ni el potasio, ni el sodio.

Los dos grupos identificados han sido contrastados con el banco de datos de FRX relevante para estas producciones y que cuenta con 930 individuos (ver especialmente Iñañez 2007) sin que

se haya encontrado ninguna correspondencia, resaltando, aún más, el carácter local de estos grupos, pero también indicando que, hasta el presente, estas producciones de Lleida no han sido encontradas fuera de esta ciudad. Igualmente, se ha procedido a contrastar estas producciones con la única producción cerámica local, caracterizada arqueométricamente, existente hasta el presente, el taller de Terra Sigillata Hispánica de Lleida (Buxeda y Madrid 2000) (Figura 5). Curiosamente, se observa la similitud química existente entre las producciones cerámicas de Terra Sigillata altoimperial y las cerámicas de la segunda mitad del siglo XVI del centro productor de Remolins (REM). Este hecho permite aventurar la hipótesis de la explotación de las mismas arcilleras para la obtención de ambas producciones tradicionales. Opuestamente, la producción identificada como OB/SA, más moderna cronológicamente (siglo XVII), parece seleccionar intencionadamente nuevos materiales arcillosos para obtener pastas más calcáreas, las cuáles, en condiciones oxidantes de alta temperatura, producirían colores más claros en las pastas (Molera *et al.* 1998) (Tablas 2 y 3). Estas pastas de colores más claros serían intencional-

NAA	REM		OB/SA	
	Media	s	Media	s
As (µg/g)	39	8	26	11
La (µg/g)	42	0	35	3
Lu (µg/g)	0.43	0.03	0.36	0.04
Nd (µg/g)	33	1	28	2
Sm (µg/g)	6.87	0.05	5.76	0.43
U (µg/g)	4.44	0.84	3.28	0.21
Yb (µg/g)	2.83	0.22	2.43	0.21
Ce (µg/g)	84	1	70	6
Cr (µg/g)	106	3	90	7
Cs (µg/g)	10.89	0.62	8.13	1.49
Eu (µg/g)	1.41	0.01	1.17	0.09
Fe (%)	5.01	0.08	3.99	0.35
Hf (µg/g)	3.7	0.1	3.9	0.3
Rb (µg/g)	169	8	118	17
Sb (µg/g)	5.1	0.2	4.9	2.4
Sc (µg/g)	18.5	0.3	14.5	1.2
Sr (µg/g)	750	213	606	51
Ta (µg/g)	1.3	0.0	1.2	0.1
Tb (µg/g)	1.0	0.1	0.8	0.0
Th (µg/g)	15.1	0.2	11.8	1.0
Zn (µg/g)	138	13	103	12
Zr (µg/g)	113	12	112	12
Al (%)	9.34	0.92	8.23	0.78
Ba (µg/g)	513	28	362	68
Ca (%)	8.89	0.42	14.37	1.61
Dy (µg/g)	4.5	0.3	4.1	0.4
K (%)	2.92	0.53	2.18	0.31
Mn (%)	0.07	0.00	0.07	0.00
Na (%)	0.77	0.25	0.39	0.08
Ti (%)	0.37	0.04	0.39	0.05
V (µg/g)	167	12	127	10

Tabla 3. Media y desviación estándar (s) de los 15 individuos analizados por AN diferenciados de acuerdo a los grupos químicos propuestos.

mente buscadas para, de esta manera, impedir que la señal cromática de la pasta interfiriera en el color final del vidriado y, por consiguiente, presentara un color blanco opaco más intenso sobre el cuál resaltarán las decoraciones.

El estudio de los difractogramas obtenidos a partir del análisis de Difracción de rayos X sobre los individuos cerámicos procedentes de Lleida permite la atribución de los mismos en diversas fábricas según la asociación de sus fases cristalinas, las cuáles permiten establecer una aproximación

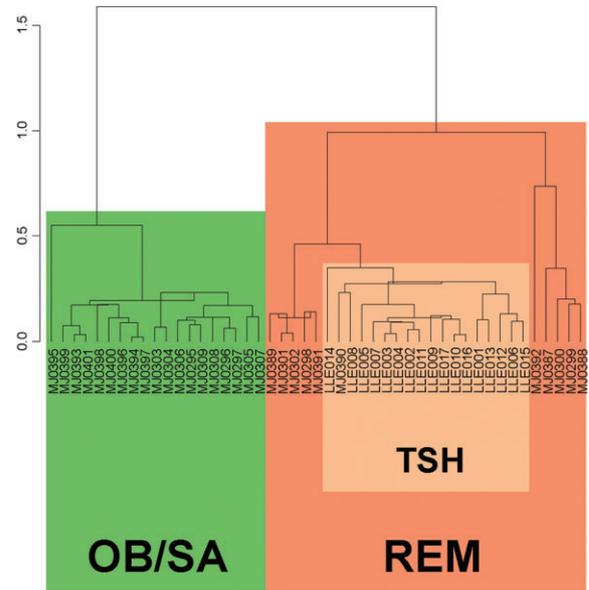


Fig. 5. Dendrograma del análisis de agrupamiento sobre los datos de FRX para los 30 individuos caracterizados de cerámica mayólica y los 17 individuos de Terra Sigillata Hispánica procedentes de la ciudad de Lleida. OB/SA: Obradors-Sant Anastasi; REM: Remolins; TSH: Terra Sigillata Hispánica.

a la temperatura de cocción equivalente (TCE) para estos individuos. Concretamente, el grupo REM puede dividirse en tres fábricas. Respectivamente, la fábrica REM-F1, con el solo individuo MJ0389, permite establecer una TCE entre 900/950 °C y 950/1000 °C, debido a la existencia de gehlenita y piroxeno, probables fases de cocción que indicarían que se superaron los 900 °C durante la cocción, mientras que la presencia de illita-muscovita permite estimar que no se sobrepasaron los 950/1000 °C, temperaturas a partir de las cuáles estos minerales se descomponen. La asociación cristalina de la fábrica REM-F2, compuesta por tan sólo 2 individuos, permitiría estimar una TCE entre (950 y 1000) °C, ya que se aprecia un desarrollo importante de piroxeno, mientras que aún puede apreciarse, aunque en menor medida que en la fábrica F1, la presencia de illita-muscovita. La fábrica REM-F3, compuesta por 5 individuos y representada por el individuo MJ0392 (Figura 6, superior), presenta una asociación de fases cristalinas que permite establecer una TCE superior a 1050 °C. La característica más destacable de esta fábrica es la presencia de analcima en sus difractogramas, hecho que estaría relacionado con una fase vítrea de importancia destacable y desarrollada a altas temperaturas.

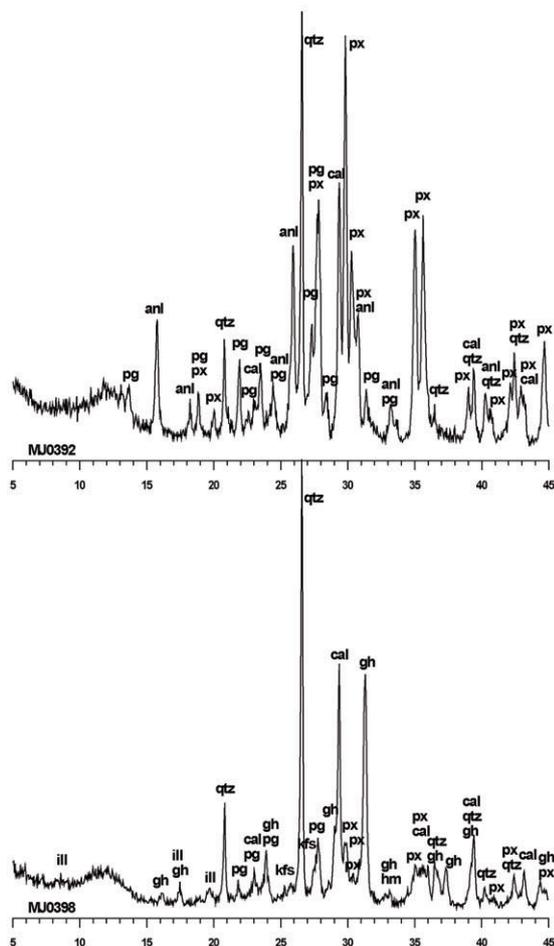


Fig. 6. Difractogramas, en 2θ , de los análisis de DRX sobre los 30 individuos caracterizados. qtz: cuarzo; ill: illita-muscovita; cal: calcita; kfs: feldespato alcalino; pg: plagioclasa; gh: gehlenita; px: piroxeno; hm: hematites; anl: analcima.

Por otro lado, el grupo OB/SA puede subdividirse en cuatro fábricas de acuerdo a su asociación mineralógica. El estudio mineralógico de la fábrica OB/SA-F1, compuesta por 5 individuos y representada por el individuo MJ0398 (Figura 6, inferior), permite establecer una TCE entre (900/950 y 950/1000) °C debido a la presencia significativa de illita-muscovita junto a fases de cocción como gehlenita y piroxeno. La fábrica OB/SA-F2, representada por el solo individuo MJ0305, presenta un importante desarrollo de gehlenita y piroxeno, mientras que la intensidad de la illita-muscovita es muy reducida, permitiendo así establecer una TCE entre (950 y 1000) °C. La TCE de la fábrica OB/SA-F3, compuesta por 3 individuos, ha sido establecida entre (1000 y 1050) °C, de acuerdo a la similitud de las fases cristalinas presentes con la fábrica OB/SA-F2, pero contando con la completa

ausencia de illita-muscovita. Finalmente, la fábrica OB/SA-F4, representado por el individuo, presenta entre sus fases cristalinas analcima y leucita, un feldespatoide potásico que impide ver si todo el feldespato potásico original se ha descompuesto, así como una importante presencia de gehlenita. Esta asociación de fases permite establecer una TCE entre (1000 y 1050) °C. Todas estas fábricas representan, a pesar de sus diferentes TCE estimadas, unas cocciones en torno a los 950/1000 °C que son características de este tipo de producciones y cuyas diferencias pueden incluso deberse a las variaciones de temperatura dentro de los propios hornos.

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido la caracterización arqueométrica de producción de cerámica mayólica de la ciudad de Lleida de los siglos XVI y XVII. En este sentido, se han identificado dos producciones diferenciadas entre las cerámicas de la ciudad correspondientes a diferentes cronologías. La primera (REM), formada por cerámicas procedentes de las excavaciones de Remolins, presenta una cronología de la segunda mitad del S. XVI; mientras que la segunda (OB/SA), formada por cerámicas procedentes de las excavaciones de las calles Obradors y Sant Anastasi, ha sido datada arqueológicamente como del S. XVII. Cabe destacar que los materiales utilizados para la fabricación de ambas producciones son diferentes, siendo los utilizados para REM similares a los empleados en momentos anteriores (Terra Sigillata Hispánica de producción local). Las arcillas utilizadas para la fabricación de la mayólica del grupo OB/SA son más calcáreas que las utilizadas por los artesanos que fabricaron las cerámicas del grupo REM. Este cambio parece responder a una transformación intencionada en la producción, que, además de un traslado de los talleres y variaciones en los estilos decorativos, inicia una mejora técnica importante, con la selección de materias primas más adecuadas para obtener unas pastas claras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se incluye en el proyecto TECNOLONIAL – Impacto tecnológico en el Nuevo Mundo colonial. Aculturación en arqueología y ar-

queometría cerámica (HAR2008-02834/HIST), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y forma parte también del proyecto ARCHSYMB – Building the concept of Europe. Majolica pottery as a common symbol of European countries in Modern times (PIOF-GA-2008-221399), del programa Marie Curie International Outgoing Fellowship del 7º Programa Marco de la Comunidad Europea. Los

análisis de Fluorescencia de Rayos-X y de Difracción de Rayos X se han realizado en los Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. Los análisis de Activación Neutrónica se han realizado en el Missouri University Research Reactor. Las muestras cerámicas han sido facilitadas por Anna Oliver i Castanos y Ana Lorient Pérez del Server d'Arqueologia del Ajuntament de Lleida.

BIBLIOGRAFÍA

- AITCHISON, J. 1986: *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman and Hall. London.
- AITCHISON, J. 2005: *A concise guide to compositional data analysis. 2nd Compositional Data Analysis Workshop - CoDaWork'05*. Universitat de Girona. Girona.
- BARCELÓ-VIDAL, C.; MARTÍN-FERNÁNDEZ, J. y PAWLOWSKY-GLAHN, V. 2001: "Mathematical foundations of compositional data analysis". En G. Ross (ed.): *Proceedings of IAMG'01-The annual meeting of the International Association for Mathematical Geology 6-12 September 2001*. Cancún, México: 1-20.
- BARDINA, E. 2000: "Un forn de ceràmica d'època moderna a la intervenció arqueològica del carrer Cardenal Remolins (Lleida)". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 10: 337-351.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1999: "Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem". *Journal of Archaeological Sciences* 26: 295-313.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2008: "Revisiting the compositional data. Some fundamental questions and new prospects in Archaeometry and Archaeology". En J. Daunis-i-Estadella y J. Martín-Fernández (ed.): *Proceedings of CODAWORK'08, The 3rd Compositional Data Analysis Workshop, May 27-30*. University of Girona. Girona: 1-18.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. y MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2000: *Caracterització arqueomètrica de la producció de Terra Sigillata de Lleida*. Informe del projecte FBIG 300917. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- GIL, I.; LORIENTE, A.; MOLINS, M.; MORÁN, M. y PAYÀ, X. 2001-2002: "Darrereres aportacions arqueològiques al coneixement de la ciutat de Lleida en època moderna". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 11-12: 359-385.
- IÑAÑEZ, J.G. 2007: *Caracterització arqueomètrica de la ceràmica vidriada decorada de la Baixa Edat Mitjana al Renaixement als centres productors de la Península Ibèrica*. Universitat de Barcelona. Barcelona (URL: <http://www.tdx.cat/TDX-0205107-115739>).
- LLADONOSA, J. 1961: *Las calles y plazas de Lérida a través de la Historia*. Vol. I. Lleida.
- LORIENTE, A. y OLIVER, A. 1991: "Intervenció arqueològica al Pati d'en Miqueló, Lleida". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 1: 239-261.
- MATHSOFT 1999: *S-PLUS 2000. User's Guide. Data Analysis Products Division*, MathSoft. Seattle.
- MOLERA, J.; PRADELL, T. y VENDRELL-SAZ, M. 1998: "The colours of Ca-rich ceramic pastes: origin and characterization". *Applied Clay Science* 13: 187-202.
- SCHWEDT, A.; MOMMSEN, H.; ZACHARIAS, N. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2006: "Analcime crystallization and compositional profiles - comparing approaches to detect post-depositional alterations in archaeological pottery". *Archaeometry* 48(2): 237-251.

PROVENIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LAS PRODUCCIONES DE TERRA SIGILLATA ITALICA DOCUMENTADAS EN LA CIUDAD ROMANA DE BAETULO (BADALONA, BARCELONA) A TRAVÉS DE SU CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA

PROVENANCE AND TECHNOLOGY OF THE ITALIAN TERRA SIGILLATA PRODUCTIONS DOCUMENTED IN THE ROMAN TOWN OF BAETULO (BADALONA, BARCELONA) THROUGH THEIR ARCHAEOLOGICAL CHARACTERIZATION

Marisol Madrid i Fernández

Cultura Material i Arqueometria ARQ|UB- GRACPE

Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona

RESUMEN: Baetulo era una ciudad romana situada en la costa catalana donde se comercializaron diversas producciones de terra sigillata itálica (TSI) desde el 25 a.e. hasta el 50 d.e aproximadamente. En época de Augusto (27 a.e. - 14 d.e.), la producción de esta vajilla alcanzará su máximo apogeo fabricándose en diversos talleres dentro y fuera de la península itálica y presentando una gran uniformidad. Esta similitud hace, en principio, imposible distinguir entre producciones ni establecer su procedencia a ojo desnudo. Así, para la correcta interpretación de la circulación cerámica de estas producciones en Baetulo se ha llevado a cabo un trabajo de caracterización arqueométrica incluyendo también individuos de las ciudades de Emporiae y Tarraco para obtener una visión más amplia sobre su comercialización en la costa catalana. Así, se ha determinado la composición química por Fluorescencia de Rayos X y la mineralógica por Difracción de Rayos X de ciento cuarenta y nueve individuos para establecer su procedencia y tecnología de producción. Finalmente, se han realizado observaciones por Microscopía Electrónica de Barrido sobre la microestructura y el estado de sinterización de la matriz y del barniz y el grado de adherencia entre ambos, así como un estudio de propiedades mecánicas de los materiales para observar si diferentes producciones corresponden también a diferentes calidades.

SUMMARY: Baetulo was a roman town located in the Catalan coast where several Italian terra sigillata productions were commercialized about the 25 BC to 50 AD. The production of this tableware reached its peak during Augustan times (27 BC - 14 AD) with the establishment of several workshops, within and outside the Italian Peninsula, making like terra sigillata. This similarity makes, in principle, impossible to distinguish among different productions or establishing their provenance to Naked Eye. Therefore, in order to shed light on the provenance and exchange structures of these terra sigillata productions in Baetulo an archaeometric research was conducted. Samples from Emporiae and Tarraco were also included in order to get a wide perspective on the commercialization of this pottery in the Catalan coast. Thus, chemical analyses by means of X Rays Fluorescence and mineralogical analyses by means of X Rays Diffraction were performed on one hundred and forty nine individuals for provenance and technological studies. A selection of them has further been analyzed under the Scanning Electron Microscope for microstructure and sintering stage studies of the matrix, and the adherence and the sintering state of the gloss. Finally, the mechanical properties of materials were also investigated in order to find out whether different productions also agreed with different qualities.

PALABRAS CLAVE: terra sigillata, Baetulo, procedencia, tecnología, propiedades mecánicas.

KEY WORDS: terra sigillata, Baetulo, provenance, technology, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

La cerámica *terra sigillata* es una de las vajillas más importantes del mundo romano. Sus características más destacables son el color rojizo de la pasta y barniz, similar al color de la arcilla/terra, y el uso, en muchos casos de sellos o marcas de ceramista (*sigilla*). La aparición de esta ce-

rámica se puede datar hacia mediados del siglo I a.e. en la península Itálica. Arezzo fue probablemente el primer taller que produjo y comercializó las primeras formas de *la terra sigillata* Itálica; en pocos años la producción se propagó por toda la Península Itálica la Galia y Hispania difundiéndose por todo el Mediterráneo (Poblome *et al.* 2004). Así pues, actualmente se entiende como *terra sigi-*

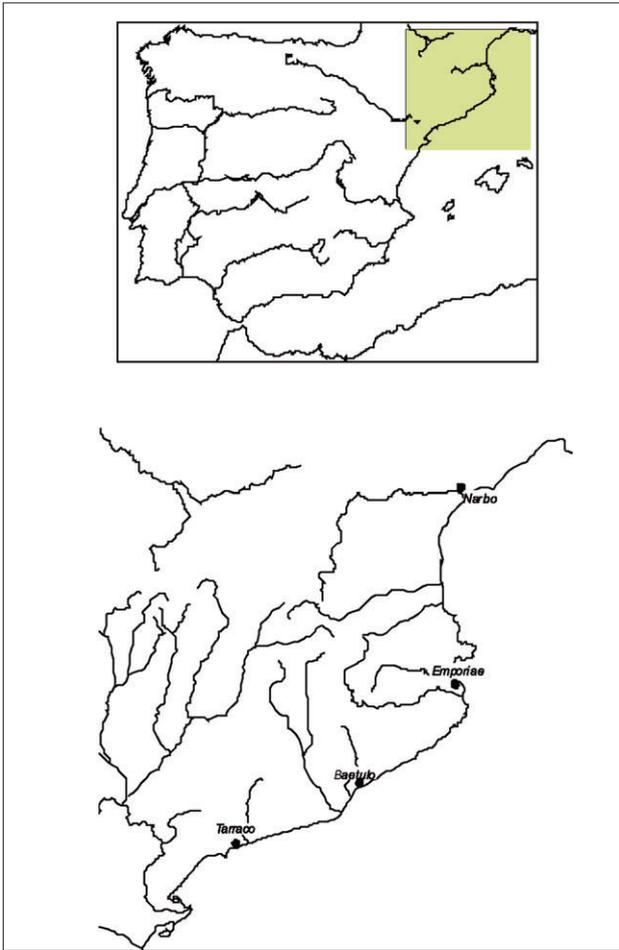


Fig. 1. Mapa donde se localizan los yacimientos en estudio.

lata itálica la producción de diversos centros, tanto de la Península Itálica como fuera de ella, que presentan la misma tipología y unas características físicas tan similares que hacen prácticamente imposible distinguir su proveniencia a ojo desnudo. En general, su cronología se puede situar desde mitad del siglo I a.e. a mitad del siglo I d.e., aunque se continuó fabricando lo que se conoce como *terra sigillata* tarδοitálica hasta mitad del siglo II d.e.

En cuanto a su caracterización arqueométrica (Madrid y Buxeda 2002), los trabajos más destacados se han centrado, principalmente, en la Península Itálica y en la Galia, en cuanto a estudios sobre los centros productores para el establecimiento de sus grupos de referencia, y en la Península Itálica, la Galia y el limes germánico, en cuanto a centros de consumo de esta vajilla para la identificación de su proveniencia. En relación a la ca-

racterización arqueométrica de *terra sigillata* Itálica en centros de consumo de la Península Ibérica, este tipo de estudios se encuentra todavía en un estadio inicial.

En nuestro caso, los resultados preliminares del estudio que presentamos a continuación, pero centrado únicamente en *Baetulo*, revelaban ya la presencia en la ciudad de como mínimo *terra sigillata* itálica de cinco centros de producción diferentes: Arezzo, Pisa, área del Lacio-Campania, la Producción A y un taller no identificado (Madrid 1999; Madrid 2004). Así, el presente artículo se centra en la ciudad romana de *Baetulo* (Badalona, Barcelona) pero también considera una muestra de las dos ciudades de época tarδο-republicana y alto imperial más importantes de la zona, *Emporiae* y *Tarraco* (Figura 1) con la finalidad de obtener una visión más amplia sobre la comercialización de estas cerámicas en la costa catalana. Aún así, hay que destacar que el estudio arqueológico previo a la caracterización arqueométrica sólo se llevó a cabo para la ciudad de *Baetulo* a partir de una selección de contextos que cubren diversas etapas y cuya formación se considera contemporánea a la circulación de la *terra sigillata* Itálica (Madrid 2005).

II. MUESTREO Y METODOLOGÍA ANALÍTICA

El problema definido en *Baetulo* parte de la consideración de esta ciudad como centro receptor en el cual circulan, desde inicios de Augusto y hasta aproximadamente mitad del siglo I d.e. diversas producciones de *terra sigillata* Itálica. Por ello, el trabajo arqueométrico se planteó con la finalidad de identificar el número de producciones y su proveniencia asumiendo que nos encontrábamos ante una muestra poligenética. Una vez identificadas cuántas producciones y relacionadas éstas con sus centros o áreas de producción, la intención era, por un lado, establecer las características tecnológicas de cada una de ellas, es decir, temperaturas de cocción, estadio de sinterización de la matriz y tipo de hornos utilizados para su fabricación. Y, por el otro, realizar estudios sobre los barnices y su grado de adherencia a la matriz, así como sobre las propiedades mecánicas de los materiales, para comprobar si era posible establecer

diferentes niveles de calidad de las diversas producciones identificadas a pesar de la similitud que, a ojo desnudo, se observa para este tipo de vajillas.

Con estos objetivos y a partir del análisis arqueológico previo del material, se realizó un muestreo aleatorio en *Baetulo* que proporcionó una muestra de ciento seis individuos. Para *Tarraco* y *Emporiae* se contó con una muestra formada por diecinueve y veinticuatro individuos respectivamente.

Para su caracterización arqueométrica se ha determinado la composición química por medio de la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y la composición mineralógica a través de la Difracción de Rayos X (DRX) de todos los individuos estudiados. Las observaciones por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se han realizado sobre una pequeña selección de individuos utilizando un aparato Jeol JSM-840 equipado con un detector de electrones secundarios (MEB-ES) y preparado para la adquisición digital de imágenes, trabajando típicamente, a 2000X. Finalmente, para el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales se llevaron a cabo test de resistencia a la ruptura sobre una selección de individuos en un aparato INSTRON 1195, aplicando una fuerza de 100 kN a un ritmo de carga constante de 50 $\mu\text{m}/\text{min}$ calculando la ruptura transversal (TRS). La rutina analítica y metodología de las técnicas utilizadas en este estudio se encuentran ampliamente explicadas en trabajos anteriores (Madrid 2005; Madrid y Buxeda 2007).

III. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Los resultados del análisis químico por FRX corresponden a un caso especial del espacio proyectivo $d+1$ -dimensional, el simplex S^d , en el cual los puntos proyectivos están representados por coordenadas homogéneas que tienen una suma constante y cuyo espacio vectorial es el ortante positivo, siguiendo un modelo multiplicativo con una métrica de intervalos logarítmicos (Barceló-Vidal *et al.* 2001; Aitchison 2005; Buxeda 2008). Debido a ello, para su tratamiento estadístico los datos se han transformado utilizando la transformación CLR en logaritmos de razones centrados (Aitchison 1986; Buxeda 1999).

Como resumen del tratamiento estadístico se presenta el dendrograma (Figura 2) resultante del análisis de aglomerados realizado con el programa S-Plus 2000 (MathSoft 1999) utilizando la distancia euclidiana al cuadrado y el proceso aglomerativo del centroide sobre la subcomposición Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO, TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni y Cr con transformación CLR. Este gráfico permite observar una estructura compleja con la presencia de diversos grupos donde se engloba la mayoría de los individuos analizados. Su proveniencia se ha establecido a partir de un estudio de asociación de patrones realizado a partir del contraste de nuestros resultados con los de la base de datos de *terra sigillata* disponible, que actualmente está formada por casi un millar de individuos de *terra sigillata* oriental, itálica, sud-gálica e hispánica. Así, en el centro del dendrograma se distingue el grupo AR que es el que engloba el mayor número de individuos, noventa y cuatro, y que se asocia al taller de Arezzo. A su izquierda se sitúa un pequeño conjunto de individuos (NE) que no forma realmente un grupo, y que aparece indicado como tal únicamente a efectos de la discusión de los resultados. Los individuos de este conjunto heterogéneo (NE) se acaban uniendo a Arezzo y Pisa, ya que su composición química es próxima a la de estos talleres, lo que permite indicar una proveniencia situada en la misma zona, es decir en el norte de Etruria. En el extremo izquierdo del dendrograma se identifica un grupo (PA) que está compuesto por veinticinco individuos y que se puede asociar con la Producción A de bahía de Nápoles (tradicionalmente conocida como *terra sigillata* Tripolitana) (Madrid 2007). Por otro lado, a la derecha de Arezzo se sitúan otros dos grupos, el primero (PS) está formado por cinco individuos y se puede asociar al taller de Pisa. Mientras que el segundo (LC) está formado por trece individuos y se puede asociar a la zona del Lacio/Campania, quizás con el conocido tradicionalmente como taller de Puzzuoli del que todavía no se conoce la ubicación exacta. Finalmente, hay tres individuos que no han quedado englobados en ningún grupo y que tampoco son similares entre ellos. Serían, pues, los únicos representantes en este conjunto de muestras de tres producciones diferenciadas para las cuales no podemos proponer una proveniencia plausible ya

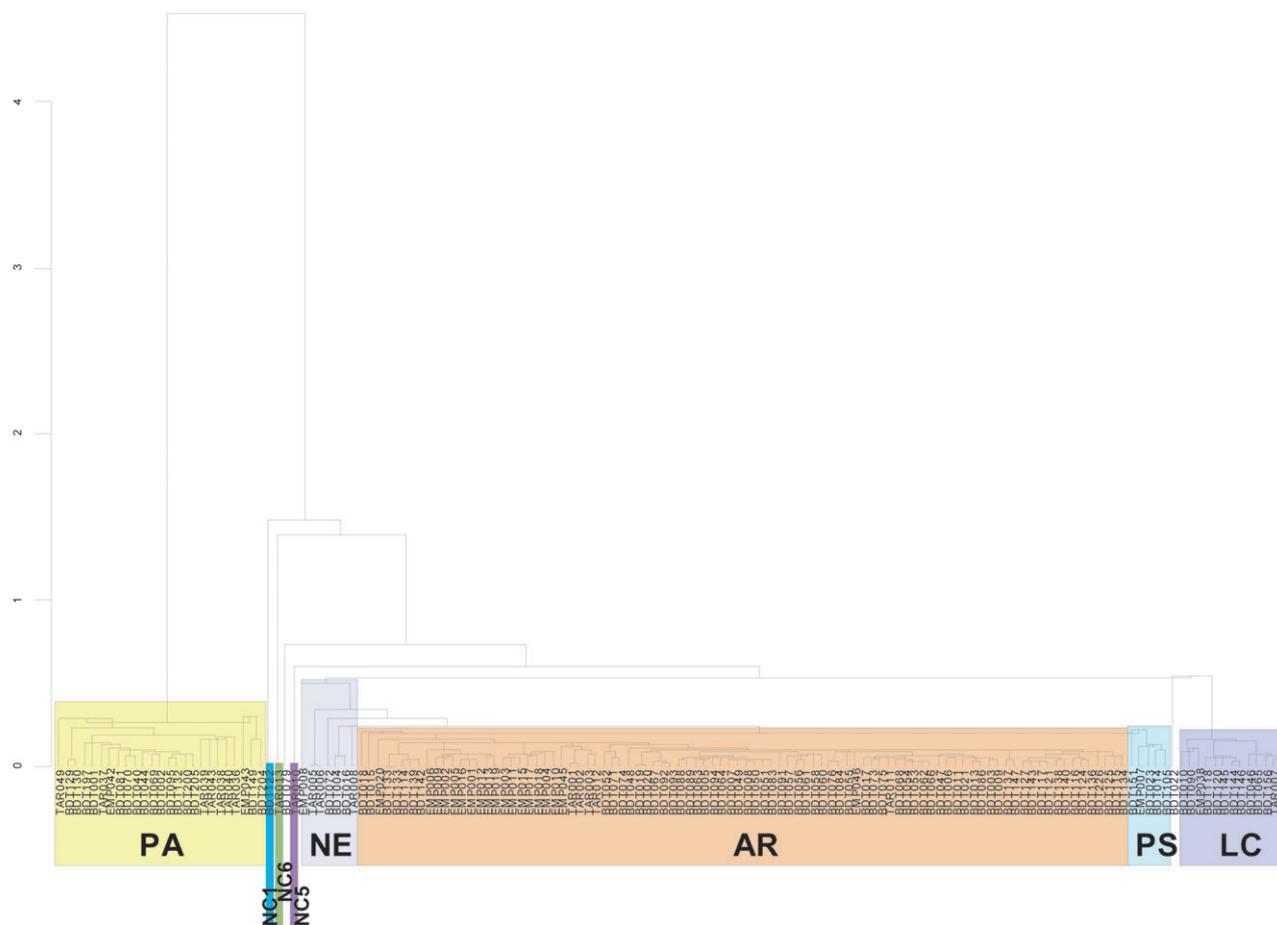


Fig. 2. Dendrograma resultante del análisis de agrupamiento utilizando la distancia euclidiana al cuadrado y el proceso aglomerativo del centroide para la subcomposición Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO, TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni y Cr con transformación CLR en logaritmos de razones centrados utilizando la media geométrica como divisor. PA: Producción A, NE: Norte de Etruria, AR: Arezzo, PS: Pisa, LC: Lacio-Campania, NC: producciones no conocidas.

que no se agrupan con ninguna producción de la base de datos. En definitiva, se puede decir que por la costa catalana circularon como mínimo ocho producciones distintas de *terra sigillata* Itálica algunas de las cuales llegarían, probablemente, de manera puntual mientras que otras estarían bien implantadas en los mercados y se distribuirían de manera regular. Centraremos pues el estudio tecnológico en estas últimas, las cuales además, hemos podido asociar con Arezzo, Pisa, Lacio-Campania (posible Puzzuoli) y Producción A de la bahía de Nápoles (Figura 3).

IV. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

Los resultados de la caracterización química ponen de manifiesto que todos los individuos analizados se corresponden con cerámicas definidas tecnológicamente como calcáreas ($CaO > 5-6\%$).

Normalmente los altos contenidos de CaO son debidos a una presencia importante de calcita que se descompone aproximadamente a $850^{\circ}C$. Esta descomposición favorece por un lado la cristalización de calco-silicatos y calco-alumino-silicatos de alta temperatura y por el otro la aparición de CO_2 que provocará la aparición de una microestructura celular (Maniatis *et al.* 1981, 1983). En el caso que nos ocupa, el estudio de los difractogramas ha permitido diferenciar diversas fábricas para cada una de las producciones de acuerdo con las fases minerales identificadas.

Excepto para la Producción A, los individuos de la cual forman parte de una única fábrica y presenta, como veremos, diferencias tecnológicas importantes respecto a las demás producciones estudiadas, en los casos de Arezzo, Pisa y Lacio-Campania, que son las que más se parecen, se han

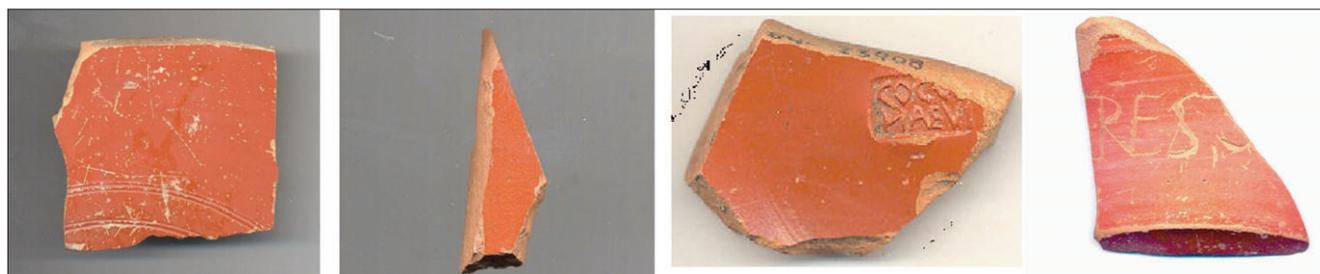


Fig. 3. Aspecto de las producciones más destacadas identificadas en este estudio. A: Arezzo, B: Pisa, C: Lacio-Campania (Pozzuoli), D: Producción A.

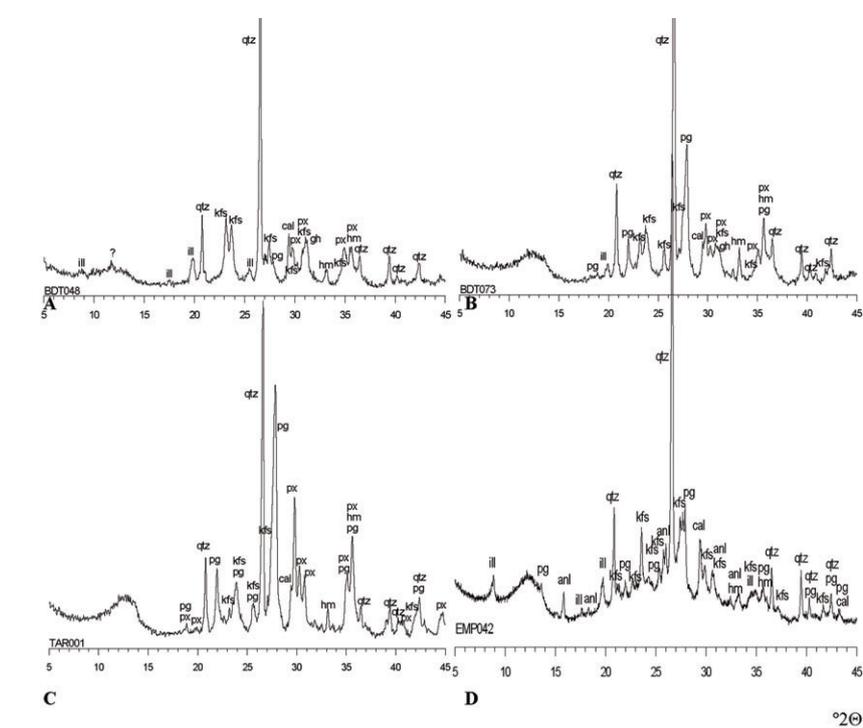


Fig. 4. A: individuo de la F1 de Arezzo. B: individuo de la F3 de Arezzo. C: individuo de la F5 de Arezzo. D: individuo de la Producción A. ill: illita-moscovita, qtz: cuarzo, cal: calcita, pg: plagioclasas, hm: hematites, kfs: feldespato potásico, px: piroxenos, gh:gehlenita, anl: analcima.

identificado diversas fábricas que corresponderían a temperaturas de cocción equivalentes (TCE) distintas. En el caso de Arezzo, el estudio de los difractogramas de los individuos que se asocian a esta producción nos permitió diferenciar cinco fábricas (F1 a F5) que se corresponderían con tres temperaturas de cocción equivalentes (TCE): F1 y F2 (850-950/1000°C), F3 (\pm 950/1000°C) y F4 y F5 (>950/1000°C) (Figura 4, A,B,C). Pisa por su parte ha permitido diferenciar tres fábricas: F1 (850-950/1000°C), que se correspondería con las fábricas F1 y F2 de Arezzo, F2 (\pm 950/1000°C), que se correspondería con la F3 de Arezzo y, por úl-

timo la F3 (>950/1000°C), que se correspondería con las fábricas F4 y F5 de Arezzo. Finalmente, para el caso del Lacio-Campania se han identificado dos fábricas: F1 (850-950/1000°C) que se correspondería con las fábricas F1 y F2 de Arezzo y F2 (>950/1000°C) que se correspondería con las fábricas F4 y F5 de Arezzo.

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización mineralógica, se realizaron observaciones sobre fracturas frescas por MEB de individuos de las tres producciones de acuerdo con las diversas TCE estimadas, para el estudio de la

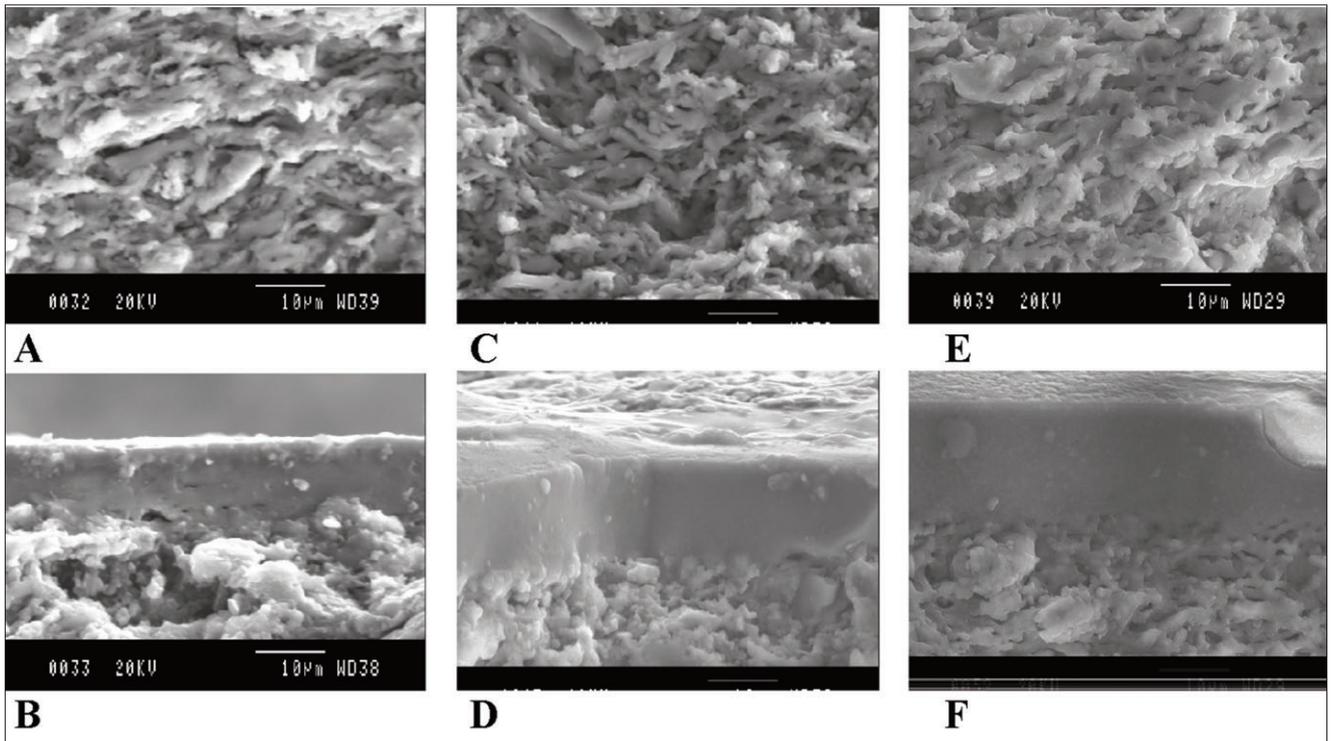


Fig. 5. Arezzo. Microfotografías de MER a 2000X. Tamaño de las imágenes: 60x45 μm. A: matriz del individuo de la F1, B: barniz del individuo de la F1, C: matriz del individuo de la F3, D: barniz del individuo de la F3; Pisa. E: matriz del individuo de la F3, F: barniz del individuo de la F5.

microestructura y estadio de sinterización de la matriz, el barniz y el grado de adherencia entre ambas fases. Como se puede observar en las Figuras 5 y 6, la evolución de la microestructura desarrollada a medida que aumenta la temperatura coincide plenamente con lo establecido por Maniatis y Tite (1978/79) para las microestructuras desarrolladas por las cerámicas calcáreas. Es decir que la matriz de los individuos para los cuales se ha estimado una TCE más baja en el rango 850-950/1000°C (Figura 5, A) se corresponde con un estadio de vitrificación inicial/continuada; la matriz de los individuo para los cuales se ha estimado una TCE \pm 950/1000°C presenta un estadio de vitrificación continuada (Figura 5C y 6A); mientras que la matriz de los individuo para los cuales se ha estimado una TCE más alta, que son, por otro lado, la mayoría de los individuos analizados en los tres casos, presenta un estadio de vitrificación continuada/avanzada (Figura 5E y 6C).

Respecto al barniz, tanto en el caso de Arezzo como en el caso de Pisa, se observan grosores entre los 10 μm y los 20 μm, mientras que para la producción del Lacio-Campania el grosor

se encuentra en torno a los 10 μm (Figuras 5 y 6). Su estadio de sinterización corresponde en todos los casos a una vitrificación total excepto para los individuos de las fábricas para las cuales se ha estimado una TCE en el rango 850-950/1000°C. En este caso, se observan, de manera aislada, pequeñas inclusiones y también algunos poros alargados que indican que el proceso de fusión de las láminas que lo forman todavía no había finalizado (Figura 5, B). Finalmente, hay que destacar que el grado de adherencia a la matriz para Arezzo y Pisa es óptimo mientras que en el caso del Lacio-Campania se observan zonas de separación entre ambas fases indicando una adherencia regular cosa que unida al menor grosor podría comportar descamaciones prematuras.

Finalmente, para los test de resistencia a la ruptura (TRS) se seleccionaron individuos para los cuales la TCE estimada se situaba a partir de 950/1000°C o superior ya que del estudio tecnológico parece desprenderse que ésta es la temperatura preferentemente utilizada para la fabricación de esta vajilla. Hay que subrayar que los test se realizaron únicamente para las producciones asociadas con Arezzo y el Lacio-Campania

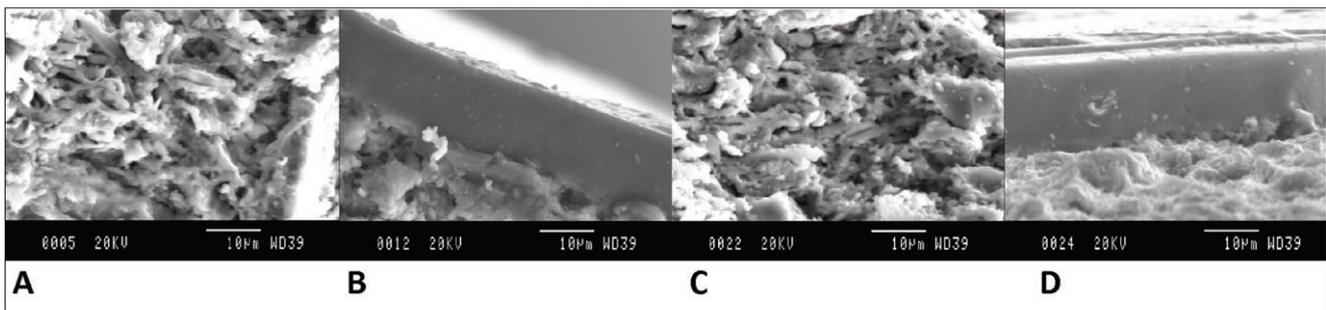


Fig. 6. Lacio-Campania. Microfotografías de MEB a 2000X. Tamaño de las imágenes: 60x45 μm . A: matriz del individuo de la F1, B: barniz del individuo de la F1, C: matriz del individuo de la F2, D: barniz del individuo de la F2.

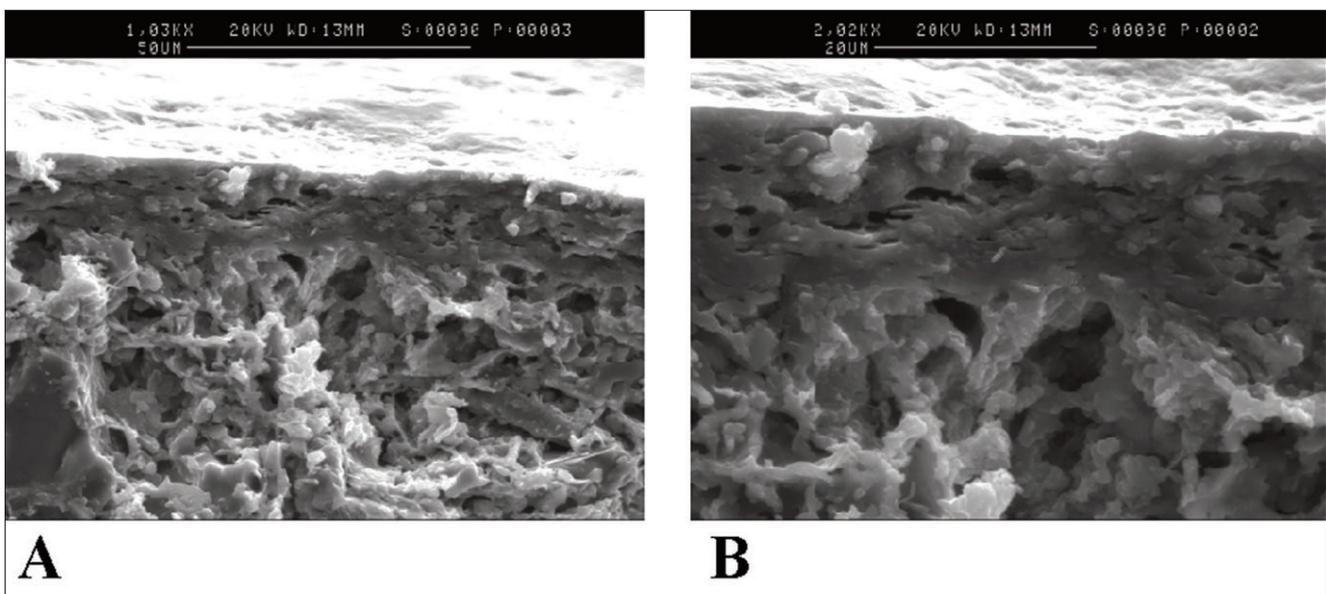


Fig. 7. Producción A. Microfotografías de MEB. A: matriz y barniz A 1000X B: barniz A 2000X.

ya que no se disponía de suficiente material en el caso de Pisa. Por tanto, los test se realizaron a partir de la preparación de tres ladrillos experimentales elaborados a partir de dos individuos correspondientes a la F3 ($\pm 950/1000^\circ\text{C}$) y F5 ($>950/1000^\circ\text{C}$) de Arezzo y tres ladrillos experimentales elaborados a partir de un individuo de la F2 ($>950/1000^\circ\text{C}$) del Lacio-Campania (Tabla 1). En el caso de Arezzo, el primer individuo muestra una resistencia media de 15.823 MPa, mientras que el segundo muestra una resistencia media de 26.223 MPa. Estos datos indican que las diferencias observadas en la TRS coinciden con la TCE estimada, es decir una resistencia más baja para el individuo de la F3 y una resistencia superior para el individuo de la F5. En el caso del Lacio-Campania el individuo testado muestra una resistencia media de 19.088 MPa que coincide con una TCE alta y con una matriz compacta de acuerdo con las observa-

ciones realizadas por MEB. Se trataría, pues, de vajillas de buena calidad, con una alta resistencia a la ruptura ligeramente menor para la producción del Lacio-Campania que para Arezzo, pero sin que ello signifique menor calidad. En el caso de Pisa, a pesar de que la poca disponibilidad de material no permitió la realización de este test, la matriz compacta y sin inclusiones observada por MEB presenta unas características similares a las observadas para los individuos de las F3 y F5 de Arezzo, con los mismos estadios de vitrificación y la misma TCE. Esto podría indicar unas propiedades comunes que deberán ser confirmadas en el futuro

A nivel macroscópico a ojo desnudo (Figura 3) los individuos de Arezzo, Pisa y el Lacio-Campania muestran un aspecto similar. La pasta presenta generalmente un color beige y el barniz marrón rojizo, característico de las producciones

FÁBRICA	Muestra	Pf (N)	S (mm)	b (mm)	d (mm)	TRS (MPa)	XRD
Producción A	mr-apr-1	236.56	20.4	10.4	8.69	9.217.005	
	BDT069	70.25	20.4	10.55	5.8	6.057.024	< 800°C
	mr-apr-2b	50.44	20.4	10.55	5.8	4.348.986	
	BDT002	69.05	20.4	10.65	4.5	9.797.391	< 800°C
Lacio-Campania	mr-65-1	127.4	20.4	10.15	4.75	17.023.058	
	BDT065	146.28	20.4	10.15	4.75	19.545.784	>950/1000°C
	mr-65-1c	154.9	20.4	10.15	4.75	20.697.580	
Arezzo	mr-6-1	110.26	20.4	10.5	4.22	18.043.684	950/1000°C
	BDT006	83.13	20.4	10.5	4.22	13.603.949	
	BDT066	866.45	20.4	10.05	10.03	26.223.883	>1050°C

Tabla 1. Resultados del test de resistencia a la ruptura realizado sobre las producciones de *terra sigillata* Producción A, Lacio-Campania (posible Pozzuoli) y Arezzo. Pf(N): fuerza aplicada en Newtons, S: distancia entre los puntos de presión, b: ancho del ladrillo d: grueso del ladrillo.

de *terra sigillata* clásica que puede variar ligeramente presentando distintas tonalidades en los tres casos. Estas pequeñas variaciones de tonalidad podrían estar relacionadas con el grosor del barniz, el cual de acuerdo con las observaciones realizadas por MEB estaría entre los 10 μm y los 20 μm en el caso de Arezzo y Pisa, y en torno a los 10 μm para el Lacio-Campania. En cualquier caso, éste siempre presenta un estado de vitrificación óptimo que proporcionaría una impermeabilización total de las piezas y un grado de adherencia bueno para Arezzo y Pisa, y regular en el caso del Lacio-Campania. Estas características y una TCE para la mayoría de la fábricas $\geq 950/1000^\circ\text{C}$ nos permiten inferir el uso de una tecnología que implica la utilización de hornos de radiación y, por tanto, un proceso de cocción tipo C (oxidante-oxidante) (Picon 1973).

En el caso de la Producción A, los veinticinco individuos asociados a esta producción corresponden a la misma fábrica, por tanto, estarían cocidos a la misma temperatura. El difractograma que los ejemplifica (Figura 4, inferior derecha) permite estimar una TCE por debajo de los 800°C .

Respecto a las observaciones realizada por MEB y como se puede observar en la figura 7 (A), la matriz se encuentra en un estadio de vitrificación muy inicial, estadio propio de una TCE inferior a 800°C (Maniatis y Tite 1978/79). Respecto al barniz (Figura 7, B), de un grosor aproximado de unos 20 μm , presenta un aspecto granular

donde todavía se aprecian inclusiones y numerosa porosidad debido a la baja temperatura a la que está cocido indicándonos que se trata de un barniz poroso y, por tanto, permeable. A pesar de todo ello, destaca el alto grado de adherencia a la matriz no observándose líneas de separación entre ambas fases.

Para la realización del test de resistencia a la ruptura se utilizaron cuatro ladrillos experimentales fabricados a partir de dos individuos que mostraron una TRS media de 7.355 MPa (Tabla 1), es decir una resistencia muy baja en contraste con la vista para Arezzo y Lacio-Campania, que coincide con una TCE por debajo de los 800°C . Esto evidencia que se trata de una producción que se rompería con facilidad pudiéndose considerar de baja calidad.

Las características de esta producción a nivel macroscópico (Figura 3) permiten observar una pasta de color beige/tostado y un barniz anaranjado más o menos oscuro, generalmente brillante, pero que nunca consigue el marrón rojizo característico de las producciones de *terra sigillata* clásica y, que presenta en general un estado de conservación satisfactorio. Este hecho debe ponerse en relación con su grosor ($\pm 20\mu\text{m}$) combinado con una óptima adherencia a la matriz. En definitiva, estas características y una TCE $< 800^\circ\text{C}$, nos permiten inferir el uso de una tecnología simple relacionada con hornos de convección y un proceso de cocción tipo A (reductor-oxidante) (Picon 1973) para esta vajilla.

	Prod A (n=25)		Arezzo (n=94)		Pisa (n=5)		Lacio-Campania (n=13)	
	Media	DesvEst	Media	DesvEst.	Media	DesvEst	Media	DesvEst.
Fe₂O₃ (%)	5,78	0,21	7.20	0.23	7.45	0.18	6.63	0.22
Al₂O₃ (%)	18,18	0,4	17.84	0.46	18.54	0.67	16.83	0.49
MnO (%)	0,13	0,01	0.16	0.01	0.14	0.01	0.13	0.01
P₂O₅ (%)	0,43	0,09	0.33	0.06	0.22	0.03	0.40	0.15
TiO₂ (%)	0,7	0,04	0.86	0.05	0.88	0.02	0.77	0.03
MgO (%)	1,96	0,11	3.53	0.12	3.23	0.11	2.90	0.17
CaO (%)	7,96	1,54	10.88	1.60	8.63	0.73	13.62	0.95
Na₂O (%)	1,87	0,2	0.90	0.09	1.00	0.09	0.97	0.09
K₂O (%)	4,31	0,17	2.60	0.18	3.17	0.16	2.63	0.12
SiO₂ (%)	58,44	1,03	55.54	1.19	56.60	1.16	54.93	1.26
Ba (ppm)	697	89	370	31	329	42	493	36
Rb (ppm)	182	13	125	10	138	12	140	11
Nb (ppm)	37	3	19	2	18	2	19	1
Pb (ppm)	73	36	49	31	27	2	48	6
Zr (ppm)	280	21	140	8	142	9	183	15
Y (ppm)	30	4	26	3	24	3	28	3
Sr (ppm)	407	63	273	34	241	16	380	30
Ce (ppm)	103	12	69	8	70	6	76	6
Ga (ppm)	20	2	23	2	22	2	21	2
V (ppm)	93	5	112	7	113	4	95	7
Zn (ppm)	96	10	129	6	125	5	121	9
Cu (ppm)	41	11	51	7	53	2	51	7
Ni (ppm)	32	4	87	4	84	5	80	5
B (ppm)	74	6	153	9	137	4	125	4

Tabla 2. Media aritmética y desviación estándar (datos normalizados) de las producciones analizadas en este estudio. (ppm= partes por millón).

V. CONCLUSIONES

El estudio de caracterización arqueométrica ha permitido establecer que por las ciudades de *Baetulo*, *Emporiae* y *Tarraco* y, por extensión, por la costa catalana, circularon un mínimo de ocho producciones distintas de *terra sigillata* Itálica, algunas de las cuales, las documentadas en mayores cantidades, han podido ser asociadas con áreas o centros de producción conocidos: Norte de Etruria, Arezzo, Pisa, Lacio-Campania (posible Pozzuoli) y Producción A. Arezzo, Pisa y Lacio-Campania habrían utilizado una tecnología basada en el uso de arcillas calcáreas, cocción preferentemente a alta temperatura en hornos de radiación siguiendo un proceso de cocción en modo C (oxidante-oxidante). Los tres talleres presentan un barniz bien vitrificado que impermeabili-

zaría las piezas de manera adecuada, más grueso y con mejor adherencia en Arezzo y Pisa. Estos aspectos son inapreciables a ojo desnudo y, por tanto, inestimables para los posibles consumidores de la época. Arezzo y Lacio-Campania resistirían por igual los golpes consecuencia del uso diario y tendrían una duración similar. Para Pisa no tenemos datos sobre este punto pero el estudio tecnológico nos permite proponer una resistencia semejante a estos talleres, que esperamos poder comprobar en el futuro.

Finalmente, la Producción A es una vajilla de baja calidad, con una muy baja resistencia a la fractura pero con aspecto de vajilla de buena calidad debido, en gran parte, al barniz que aunque poroso es grueso y presenta una buena adherencia a la matriz. Para su fabricación se habrían utilizado ar-

cillas calcáreas, un proceso de cocción en modo A (reductor-oxidante) en hornos de convección a temperaturas en torno a los 800°C. Al estar fabricada en hornos sencillos sus costes de producción

serían menores lo que permitiría una comercialización a precios más bajos, una amplia difusión y una larga permanencia en los mercados compitiendo con vajillas de mayor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- AITCHISON, J. 1986: *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Chapman and Hall, London.
- AITCHISON, J. 2005: *A concise guide to compositional data analysis. 2nd Compositional Data Analysis Workshop – CoDaWork'05*. Universitat de Girona. Girona
- BARCELÓ-VIDAL, C.; MARTÍN-FERNÁNDEZ, J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. 2001: "Mathematical foundations of compositional data analysis". En G. Ross (ed.): *Proceedings of IAMG'01-The annual meeting of the International Association for Mathematical Geology*, 6-12 September 2001. Cancún, México: 1-20.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1999: *Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem*, *Journal of Archaeological Sciences* 26: 295-313.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2008: "Revisiting the compositional data. Some fundamental questions and new prospects in Archaeometry and Archaeology". En J. Daunisi-Estadella y J. Martín-Fernández (eds.): *Proceedings of CODAWORK'08. The 3rd Compositional Data Analysis Workshop. May 27-30*. University of Girona. Girona: 1-18.
- MADRID I FERNANDEZ, M. 1999: "Les marques de potier sur la terra sigillata de la ville romaine de Baetulo (Badalona, Barcelone)". *SFECAG, Actes du Congrès de Fribourg*, Marseille: 179-189.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2004: "Preliminary results of Archaeological and Archaeometrical studies of Early Italian Sigillata from Baetulo (Badalona, Barcelona)". En J. Poblome, P. Talloen, R. Brulet y M. Waelkens (eds.): *Early Italian Sigillata*. Babesch, Annual Papers on Classical Archaeology, Supplement 10, Leuven: 337-350.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2005: *Estudi arqueològic i caracterització arqueomètrica de la terra sigillata de la ciutat de Baetulo (Badalona)*, Tesis Doctorals Electròniques TDX-0105106-091209, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2007: "Identificació arqueològica i arqueomètrica de la Producció A de la badia de Nàpols dins les sigillates indeterminades de Baetulo". En M. Roca Roumens y J. Principal (eds): *Les imitacions de vaixel·la fina importada a la Hispania Citerior (segles I aC-I dC)*, Serie Documenta 6: 89-97.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2002, "A Review of the archaeometric studies of western mediterranean terra sigillata from the first century BC to the second century AD: state of art, limitations and potential". En V. Kilikoglou, A. Hein y Y. Maniatis (eds.), *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics*, BAR International Series 1011, Oxford: 287-298.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2007, "Qualitat i consum ceràmic de la sigillata augustal. Noves vies d'estudi i interpretació a partir de l'arqueometria". *Empúries* 55: 53-66.
- MANIATIS, Y.; SIMOPOULOS, A. y KOSTIKAS, A. 1981: "Mossbauer Study of the Effect of Calcium Content on Iron Oxide Transformations in Fired Clays". *Journal of the American Ceramic Society* 64: 263-269.
- MANIATIS, Y.; SIMOPOULOS, A.; KOSTIKAS, A. y PERDIKATIS, V. 1983: "Effect of Reducing Atmospheres on Minerals and Iron Oxides Developed in Fired Clays: the Role of Ca". *Journal of the American Ceramic Society* 66: 773-781.
- MANIATIS, Y. y TITE, M.S. 1978/79: "Examination of Roman and Medieval Pottery using the Scanning Electron Microscope". *Acta Praehistorica et Archaeologica* 9/10: 125-130.
- MATHSOFT, 1999: *S-PLUS 2000: User's Guide*, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.
- PICON, M. 1973: *Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux*. Centre de Recherches sur les techniques Gréco-romaines 2, Université Dijon.
- POBLOME, J.; TALLOEN, P.; BRULET, R. y WAELKENS M. (eds.): *Early Italian Sigillata*, Babesch, Annual Papers on Classical Archaeology, Supplement 10, Leuven.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL, QUÍMICO Y MINERALÓGICO DE PRODUCTOS CERÁMICOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN METALÚRGICA DEL III MILENIO ANE: EL CASO DE VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLA)

STRUCTURAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS OF CERAMICS ASSOCIATED TO METALURGICAL PRODUCTION OF III MILLENNIUM BCE. THE CASE OF VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLE)

Nuno Miguel de Franco Inácio (1) / Francisco Nocete Calvo (1) / José Miguel Nieto Liñán (2) / Reinaldo Sáez Ramos (2) / Moisés Rodríguez Bayona (1) / Daniel Abril López (1)

(1) Dpto. de Historia I, Facultad de Humanidades, Universidad de Huelva

(2) Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva

RESUMEN: *El concepto y la percepción de la metalurgia prehistórica, de su desarrollo cronológico, tecnológico y social, ha sido modificado desde la aportación de los Proyectos de Investigación del Grupo MIDAS III MILENIO A.N.E. de la Universidad de Huelva.*

La evaluación y análisis de la actividad metalúrgica en Valencina de la Concepción ha permitido la definición de un complejo sistema de producción, donde los indicadores arqueológicos señalan un nivel diferenciado y superior de desarrollo tecnológico respecto a sitios de su misma cronología (III Milenio anterior a nuestra era). Además, sus contextos sociales y la división técnica y espacial del trabajo, indican la existencia de un barrio industrial de producción metalúrgica especializada.

Este trabajo presenta los resultados de la definición de los procesos tecnológicos de producción y utilización de productos cerámicos (crisoles y toberas), asociados a la actividad metalúrgica del cobre, mediante la aplicación de una metodología basada en el análisis textural, petrográfico, químico y mineralógico.

Los resultados de los análisis petrográficos y químicos sugieren la utilización de materia prima similar y de origen local para la manufactura de crisoles y toberas. Sin embargo, desde el punto de vista tecnológico, los crisoles y toberas presentan un tratamiento diferenciado con respecto a la preparación de la pasta cerámica.

Por último, la información aportada por el análisis mineralógico y textural, ha permitido acercarse a la temperatura a que han estado sometidos estos instrumentos durante el proceso metalúrgico. En el caso de los crisoles, las temperaturas estimadas corroboran los datos procedentes del análisis textural y químicos de las adherencias esoriáceas.

SUMMARY: *The concept and perception of prehistoric metallurgy, its chronological, technological and social development, has been modified after the publication of the results of research projects developed by "MIDAS III MILENIO ANE" Group (University of Huelva).*

The assessment and analysis of metallurgical activity in Valencina de la Concepción has allowed the definition of a complex production system, where archaeological indicators point to a different and higher level of technological development compared with sites of same chronology (3rd millenium BCE). Moreover, their social contexts and the technological and spatial division of labor, suggest the existence of a specialized smelting quarter in this settlement.

This paper presents the results of technological process associated to manufacture and use of ceramic products (crucibles and tuyères) associated to metallurgical activity, by implementing a methodology based on textural, petrographical, chemical and mineralogical analysis.

For the manufacture of crucibles and tuyères, the results of the petrographic and chemical analysis suggested the use of similar raw materials sourced locally. However, from the technological point of view, crucibles and tuyères have a differential treatment in relation to the preparation of ceramic paste.

Finally, the information provided by the mineralogical and textural analysis has allowed estimating the temperature reached by these instruments in the metallurgical process. In the case of the crucibles, the data corroborate the information provided by textural and chemical analysis of scoriaceous adhesions.

PALABRAS CLAVE: *Tercer Milenio A.N.E., Metalurgia del cobre, Crisoles, Toberas, Técnicas de producción.*

KEY WORDS: *Third millennium BC, Copper metallurgy, crucibles, tuyères, production techniques.*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en el seno del Grupo de Investigación *MIDAS III MILENIO A.N.E.* de la Universidad de Huelva, se han desarrollado Proyectos Generales de investigación, autonómicos (ODIEL I y II) y nacionales (PIGMALION I, II y III: PB 98-0958 / BHA20021-0437-C02-02 / HUM2005-02814/HIST), centrados en la exploración del proceso de relaciones centro/periferia de la sociedad clasista inicial en su articulación de la organización técnica y social de la producción metalúrgica del cobre durante el Tercer Milenio A.N.E.

En el marco de las investigaciones sobre la producción metalúrgica del cobre durante el Tercer Milenio A.N.E., la recién identificación de singulares y especializados contextos metalúrgicos en el yacimiento de Valencina de la Concepción (Nocete *et al.* 2008) exigía un cambio metodológico orientado a comprender el contexto social de la actividad metalúrgica a través de la aplicación de un modelo metodológico que integrase todos los componentes del proceso metalúrgico: análisis de subproductos (escorias), análisis de productos (composicional, técnicas de manufacturación y propiedades mecánicas), análisis de procedencia de materias primas y productos, análisis de instrumentos líticos y, por último, análisis de los instrumentos cerámicos asociados al proceso metalúrgico (crisoles y toberas), proporcionado por un nuevo y rigurosos registro microespacial, su contextualización diacrónica y sincrónica e información paleoambiental.

II. EL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO¹

El yacimiento arqueológico de Valencina de la Concepción se ubica en una plataforma elevada sobre el Guadalquivir, en el aljarafe de la provincia de Sevilla (Figura 1). Ha sido objeto de estudio por parte de numerosos autores, coincidiendo casi todos en enfatizar, sobre todo, su gran extensión, las grandes tumbas y los ricos ajuares asociados

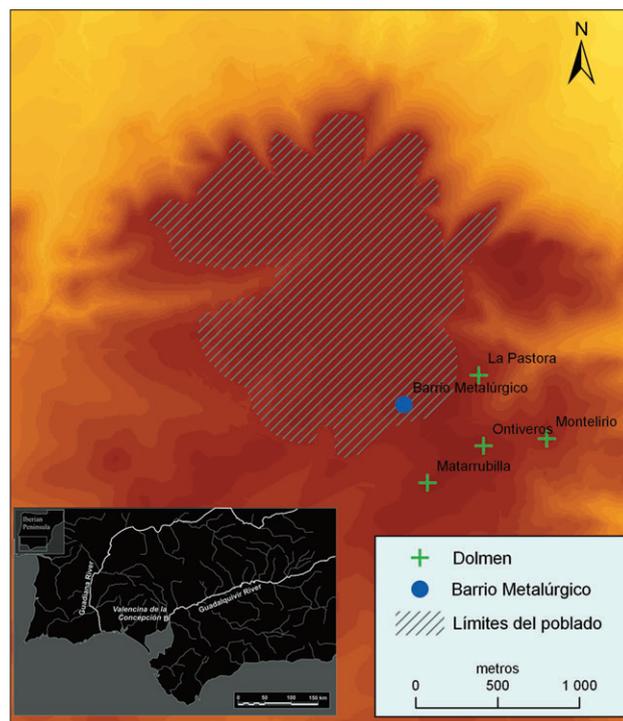


Fig. 1. Localización del barrio *metalúrgico* en el poblado de Valencina de la Concepción.

(Murillo 2004). En los últimos años, varios autores, enmarcados por distintos y renovados enfoques teóricos, se han referido a *Valencina* como un enorme centro de poder que articula, organiza y gestiona un extenso territorio (Nocete 2001: 46; Pajuelo y López 2001: 244).

Sin embargo, a pesar de la importancia generalmente admitida para *Valencina de la Concepción*, el panorama de su investigación, pese a los centenares de intervenciones arqueológicas desarrolladas en él, se ha caracterizado tanto por una documentación de carácter puntual como por la ausencia casi total de proyectos de investigación sistemáticos.

Las intervenciones arqueológicas realizadas con la colaboración y asesoramiento de nuestro Grupo de Investigación, entre 2002 y 2006, en dos zonas (Matarrubilla y Nueva Valencina) anexadas espacial y temporalmente y con una superficie global próxima a las 9 hectáreas, han permitido documentar, por la cualidad e intensidad de sus

¹ Para un desarrollo más extenso del contexto arqueológico véase Bayona *et al.*, "El Barrio Metalúrgico de Valencina de la Concepción (Sevilla): procesos de producción vinculados a la manufactura de productos de cobre", publicado en este mismo Con-

indicadores arqueológicos, el sector que hemos denominado *barrio metalúrgico* (Figura 1). Estos nuevos registros modificaron sustancialmente, no sólo la organización interna del poblado, sino la interpretación sobre la práctica de la actividad metalúrgica en la *Valencina de la Concepción* del III Milenio A.N.E., ahora mediante la constatación de inequívocos contextos de producción (Nocete *et al.* 2008).

Estos contextos se encuentran delimitados por un sistema de fosos que definen tanto el límite sur del asentamiento como la separación de esta área del ámbito funerario. Sus evidencias materiales —minerales, escorias, herramientas vinculadas a la actividad metalúrgica (toberas, crisoles, molinos, percutores, morteros, batanes, pinzas) y productos de cobre— definen una configuración espacial y económica que otorgan a la actividad metalúrgica el papel de único sector productivo de esta área del asentamiento.

La fijación cronológica, obtenida mediante ocho dataciones radiocarbónicas, de las cuales seis procedían de los contextos de actividad metalúrgica del sector, y específicamente de muestras tomadas del interior de sus escorias, establece una horquilla temporal entre los inicios de la actividad metalúrgica de los cuatro sectores entorno al, calibrado, 2750 A.N.E. y el 2500 A.N.E. principalmente.

Para el estudio integrado de este sector del poblado y de la actividad desarrollada en él, hemos aplicado una metodología de evaluación empírica que ha contemplado, entre otros aspectos, el análisis microespacial, las dataciones radiocarbónicas, el análisis mineralógico e isotópico a minerales, escorias y productos, análisis metalográficos a sus productos de metal y análisis arqueométrico del instrumental cerámico (toberas y crisoles), que son los que aquí se presentan.

III. CRISOLES Y TOBERAS DE VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN

Los crisoles y toberas, prácticamente ausentes en las excavaciones arqueológicas previas de Valencina de la Concepción (Hunt 2003: 299-303), son uno de los materiales más abundantes documentados en la intervención arqueológica del contexto del Barrio Metalúrgico. En total, fueron



Fig. 2. Fotografía de instrumentos cerámicos asociados a la actividad metalúrgica en el barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción: crisoles circulares y rectangulares.

identificados cerca de dos centenares de crisoles fragmentados y una treintena de toberas.

Los crisoles (Figura 2), asociados a las tareas de fundición de cobre, presentan en general morfologías sub-rectangulares, con base plana, similares a los prototipos identificados en otros yacimientos del Suroeste de la Península Ibérica, como La Junta de los Ríos, Cabezo Juré o Santa Justa (Nocete, 2001; 2004; 2005; Gonçalves, 1989). Sin embargo, en el caso de los contextos del Barrio Metalúrgico de Valencina de la Concepción, se han documentado también ejemplares de formato circular. Presentan en general pastas muy porosas y deshidratadas, de color marrón a gris, signos de haber sido sometidos a altos gradientes térmicos y adherencias escoriáceas en las superficies internas, sobre todo en los bordes. La mayoría de los fragmentos ofrecen un grosor medio de paredes de $1,6\pm 0,4$ cm, profundidades medias de $1,9\pm 0,5$ cm y anchura media de $6,1\pm 1,4$ cm. Aunque no ha sido posible registrar ningún ejemplar completo, algunos presentan longitudes que puedan pasar los 15 cm, lo que indica un rango de tamaño que puede oscilar de los $20/30\text{cm}^3$, hasta crisoles de gran ta-



Fig. 3. Fotografía del detalle de improntas de materia orgánica vegetal en la pasta de un crisol.

maño, algunos con cerca de 300 cm³ de capacidad volumétrica. El examen exhaustivo de algunos ejemplares a través de lupa binocular ha permitido reconocer la presencia de negativos de materia orgánica en el interior de su pasta (Figura 3).

El conjunto de toberas documentado presenta morfologías muy estandarizadas, de tendencia cilíndrica, con longitud media de 10,4±1,0 cm, diámetro medio de 5,2±0,5 y grosor medio de paredes de 1,6±0,2 cm. El orificio interno para la inyección de aire presenta una abertura máxima en

las extremidades de 2,3±0,3 cm y una abertura mínima interna de 1,2±0,2 cm. Las toberas fueron fabricadas con pastas muy porosas y presentan signos de alteración térmica en sus superficies, con coloraciones grises oscuras y negras, aunque ninguna presenta adherencias escoriáceas (Figura 4).

IV. EL MARCO GEOLÓGICO

El yacimiento prehistórico de Valencina se ubica en las elevaciones del Aljarafe sevillano, una amplia plataforma que alcanza los 180 m en la zona de implantación del yacimiento prehistórico y que desciende suavemente hacia el Sur. Esta unidad elevada está dominada por formaciones sedimentarias terciarias (IGME, 1980), donde se pueden discriminar, a grandes rasgos, tres litofacies (Figura 5):

Margas Azules

Esta unidad, denominada como “Formación Ecija”, está constituida por margas de color gris azulado, compactas, duras y más o menos carbonatadas, que en algunos casos se pueden conside-



Fig. 4. Fotografía de instrumentos cerámicos asociados a la actividad metalúrgica en el barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción: toberas.

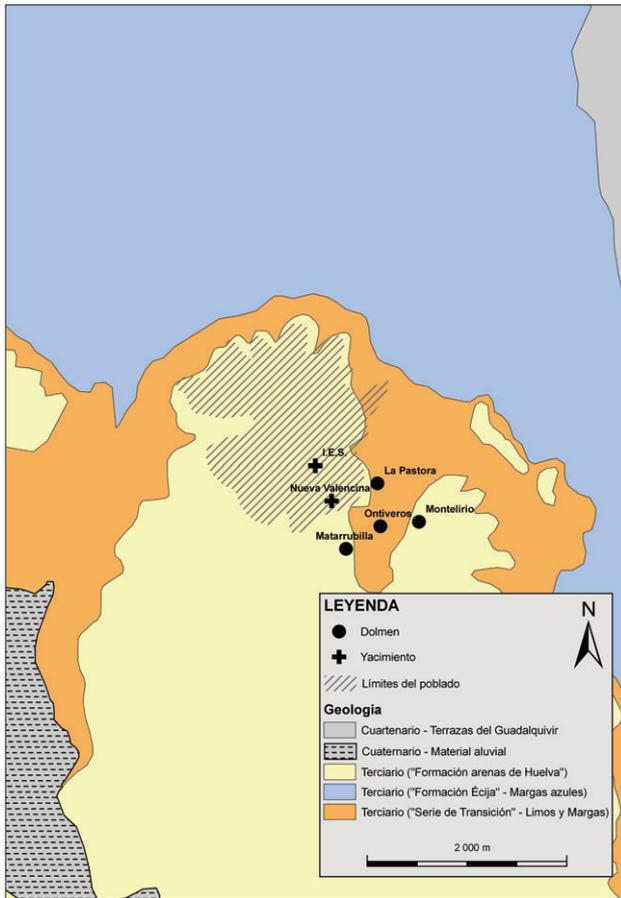


Fig. 5. Esquema geológico del área en estudio con la localización del poblado de Valencina de la Concepción y sus tumbas más importantes.

rar como arcillas calcáreas. La composición mineralógica global es de cuarzo, calcita, dolomita, filosilicatos y yeso (Galán y Pérez 1989).

Tramo de Alternancia entre Margas arenosas y arenas

Sobre el tramo de Margas Azules aparece una alternancia de margas arenosas y limos, con intercalaciones de arenas y areniscas y potencia variable. La composición mineralógica global es de cuarzo, calcita, dolomita, feldspatos y filosilicatos (Galán y Pérez 1989).

Limos arenosos amarillos

Esta unidad, denominada como “Formación Arenas de Huelva”, se encuentra sobre el tramo anterior y domina el sustrato geológico del yacimiento prehistórico. Está constituida por limos,

limos arenosos y arenas de color amarillento, con algunos niveles de arenisca intercalados en los niveles más altos. La composición mineralógica global es de cuarzo, calcita, dolomita, feldspatos y filosilicatos (Galán y Pérez 1989).

V. MUESTREO Y METODOLOGÍA

Para el ensayo metodológico preliminar fue seleccionado un conjunto representativo de 10 crisoles y 2 toberas para su análisis, procedentes de los contextos arqueológicos del Barrio Metalúrgico. Para el presente estudio se han empleado las siguientes técnicas y métodos analíticos:

- Análisis petrográfico mediante observación de lámina delgada pulida con microscopio óptico de transmisión y reflexión.

- Cálculo de la porosidad relativa.

- Análisis geoquímico de elementos mayoritarios y trazas mediante ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) e ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*).

- Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X.

- Análisis microtextural de fracturas frescas con Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) (2000x y 3500x) y posterior comparación con los términos definidos por Maniatis y Tite (1981)

VI. RESULTADOS

Análisis Petrográfico

En general, todas las muestras de crisoles y toberas presentan una matriz limo/arcillosa a margosa, de color gris a marrón, con evidentes signos de alteración térmica. La fracción fina está constituida mayoritariamente por inclusiones de cuarzo, de tendencia subredondeada, con tamaños inferiores a 200 micras. En menor proporción, es posible identificar algunos óxidos de hierro, plagioclasas, feldspatos alcalinos y microfósiles (foraminíferos troncoespiralados y de tipo globorotalia, así como

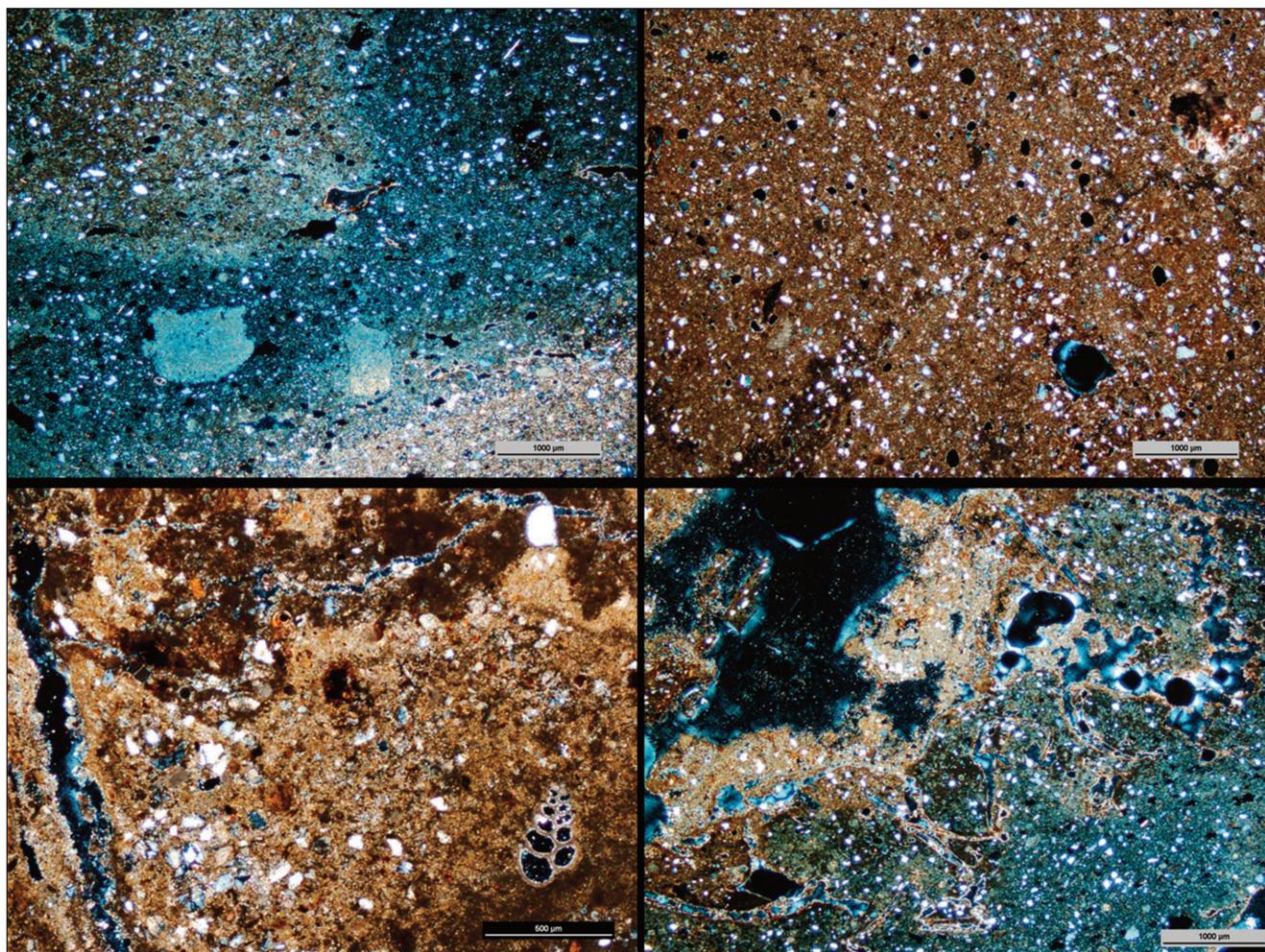


Fig. 6. Microfotografías obtenidas en microscopio óptico: pormenor de la matriz de crisoles y toberas.

pequeños gasterópodos). La fracción más gruesa está compuesta también por inclusiones de calcita y caliza micrítica, con tamaños inferiores a 1 mm, que se encuentran totalmente descompuestas en algunos casos. Aparentemente no se aprecian grandes diferencias texturales entre la matriz de los crisoles y de las toberas. Estos datos sugieren la utilización de arcillas limo-arenosas y margosas con composición mineralógica compatible con las formaciones sedimentarias del entorno inmediato (Figura 6).

Sin embargo, desde el punto de vista del tratamiento tecnológico aplicado a la materia prima, se han identificado algunas diferencias entre crisoles y toberas. Como ya habíamos constatado durante el examen por lupa binocular, donde se han identificado algunos ejemplares de crisoles con restos de materia orgánica incorporada en sus pastas, el examen petrográfico ha demostrado la presencia, en un número significativo de muestras, de restos de materia orgánica no carbonizada com-

pletamente y poros formados por su volatilización. Dado que la incorporación de materia orgánica en las pastas de cerámica se encuentra frecuentemente asociada al intento de proporcionar mayor porosidad a la cerámica (Rye 1981; Rice 1987) por parte del alfarero, para determinar efectivamente esta relación, se ha estimado la porosidad relativa en muestras de crisoles y toberas. La información aportada sugiere que la incorporación de materia orgánica parece haber contribuido a una mayor porosidad de los crisoles, estimada en cerca de 43%, mientras que en el caso de las toberas, donde no se ha identificado presencia de materia orgánica, tanto desde punto de vista macroscópico como microscópico, su porcentaje desciende hasta valores próximos al 30%.

La incorporación de chamota parece haber sido otro rasgo diferenciador entre crisoles y toberas. En algunas muestras de crisoles fue posible documentar la presencia de inclusiones arcillosas

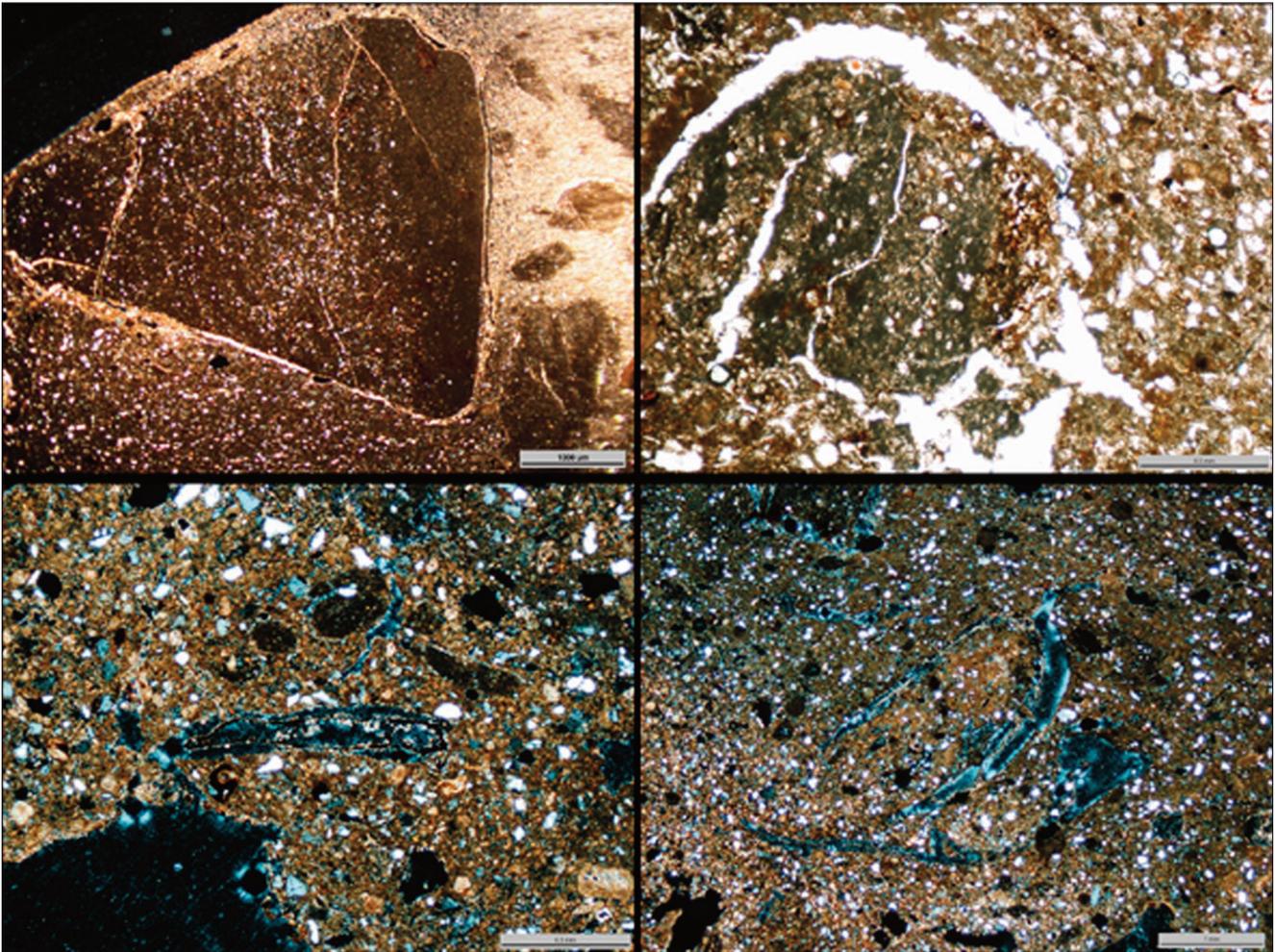


Fig. 7. Microfotografías obtenidas en microscopio óptico: chamota (arriba) y restos de materia orgánica (abajo).

con tamaños superiores a 2/3 mm. El análisis de la matriz de estas inclusiones y su tamaño parece indicar que se trata de crisoles molidos (chamota) que fueron deliberadamente incorporados en la arcilla como desgrasantes (Figura 7).

Por último, se destaca la presencia, en todo el muestreo analizado, de calcita de origen secundario que, en ocasiones, rellena completamente la microporosidad de las muestras.

Análisis Químico

De acuerdo con el análisis químico fue utilizada arcilla con un contenido en CaO próximo al 35%. El contenido más elevado en las muestras lo representa el SiO₂ (48,5%±6.1) seguido del CaO, como ya referimos anteriormente. Los restantes elementos presentan valores inferiores, desta-

cando Al₂O₃ (8,6%±1,6), Fe₂O₃ (3,3%±0,6), MgO (1,4%±0,4) y K₂O (1,4%±0,3).

Cuando comparamos la composición química entre crisoles y toberas, se pueden apreciar algunas diferencias. Los crisoles presentan, en general, un mayor contenido en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO y K₂O, en relación a las toberas. En contraste, éstas presentan un elevado contenido en CaO en comparación con las muestras de crisoles.

En relación a los elementos trazas, se observa un mayor contenido en éstos en las muestras de crisoles frente a las muestras de toberas. El contenido en Tierras Raras presenta un comportamiento similar, observándose un enriquecimiento en las muestras de crisoles ($\Sigma\text{REE}=112,8\pm 19,8$) en relación con las muestras de toberas ($\Sigma\text{REE}=83,5\pm 15,7$). Sin embargo, las mayores diferencias se relacionan con la elevada presencia de

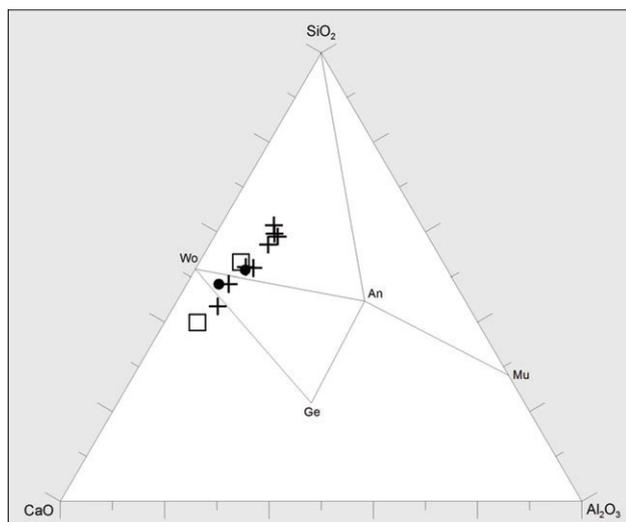


Fig. 8. Representación de las muestras analizadas en el diagrama ternario de equilibrio $\text{SiO}_2/\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Cuadrados: toberas; Cruces: crisoles; Círculos: muestras de sedimento.

Cu y As en los crisoles, en relación con las muestras de toberas, hecho que se debe, sin lugar a dudas, a la contaminación producida por el contacto directo durante la utilización de estos instrumentos en las operaciones de fundición de objetos de cobre.

Cuando comparamos la composición química de crisoles y toberas con las muestras de sedimentos previamente recogidas para su contrastación en el entorno del yacimiento, los datos sugieren una elevada compatibilidad, señalando la utilización de arcillas locales, ricas en CaO, como se puede observar en el siguiente diagrama ternario (Figura 8).

Análisis mineralógico y estimación de temperaturas

Para evaluar la temperatura a la que han sido sometidos los crisoles y toberas durante el proceso metalúrgico, se han analizado las muestras desde un punto de vista mineralógico y se han observado pequeños fragmentos de muestras con fracturas frescas en MEB, para la evaluación de las modificaciones en su microtextura.

Todas las muestras presentan un alto contenido en CaO, lo que se debe a la utilización de arcillas con abundante presencia de carbonatos, que al descomponerse por la acción térmica van a facilitar la aparición de nuevas fases cristalinas. Además, las elevadas temperaturas producen

importantes cambios microtexturales que podrán ser identificados vía MEB.

El análisis de las muestras en el diagrama ternario $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ha permitido constatar que éstas presentan un comportamiento similar en el triángulo de equilibrio termodinámico Wollastonita/Gehlenita/Anortita/Cuarzo (Figura 9).

Desde el punto de vista mineralógico todas las muestras presentan fases mineralógicas de cuarzo, calcita, feldespatos alcalinos y plagioclasas. Sin embargo, teniendo en cuenta la presencia/ausencia de algunas fases cristalinas, denominadas como de neoformación o de alta temperatura, el análisis de los difractogramas ha permitido determinar, al menos, tres rangos de temperatura:

En primer lugar, muestras sin fases de alta temperatura y con presencia de picos de illita/moscovita, lo que supone una temperatura estimada a la que han sido sometidas inferior a $800/850^\circ\text{C}$. En este rango se agrupan las muestras de toberas y una muestra perteneciente a un crisol.

En segundo lugar, muestras aún con presencia de picos de illita/moscovita y neoformación de gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), una fase de alta temperatura formada por la reacción de la calcita con los minerales de arcilla (Riccardi *et al.* 1999), lo que supone una temperatura alrededor de $850^\circ\text{-}950^\circ$. Este grupo incluye muestras solamente pertenecientes a crisoles.

-Por último, muestras con presencia de picos de gehlenita y dióxido ($\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$) y sin evidencias de picos de illita/moscovita. Esta asociación mineralógica evidencia temperaturas aún más elevadas, alrededor de $950^\circ/1050^\circ$ y que sólo se han registrado en muestras de crisoles.

Como ya hemos comentado en el apartado dedicado al análisis petrográfico, la presencia de picos de calcita en todos los rangos de temperatura se debe a la formación de calcita secundaria a través de procesos post-deposicionales. Sin embargo, resulta significativo señalar la presencia de picos muy intensos en las muestras pertenecientes al primer rango de temperatura, lo que se debe, proba-

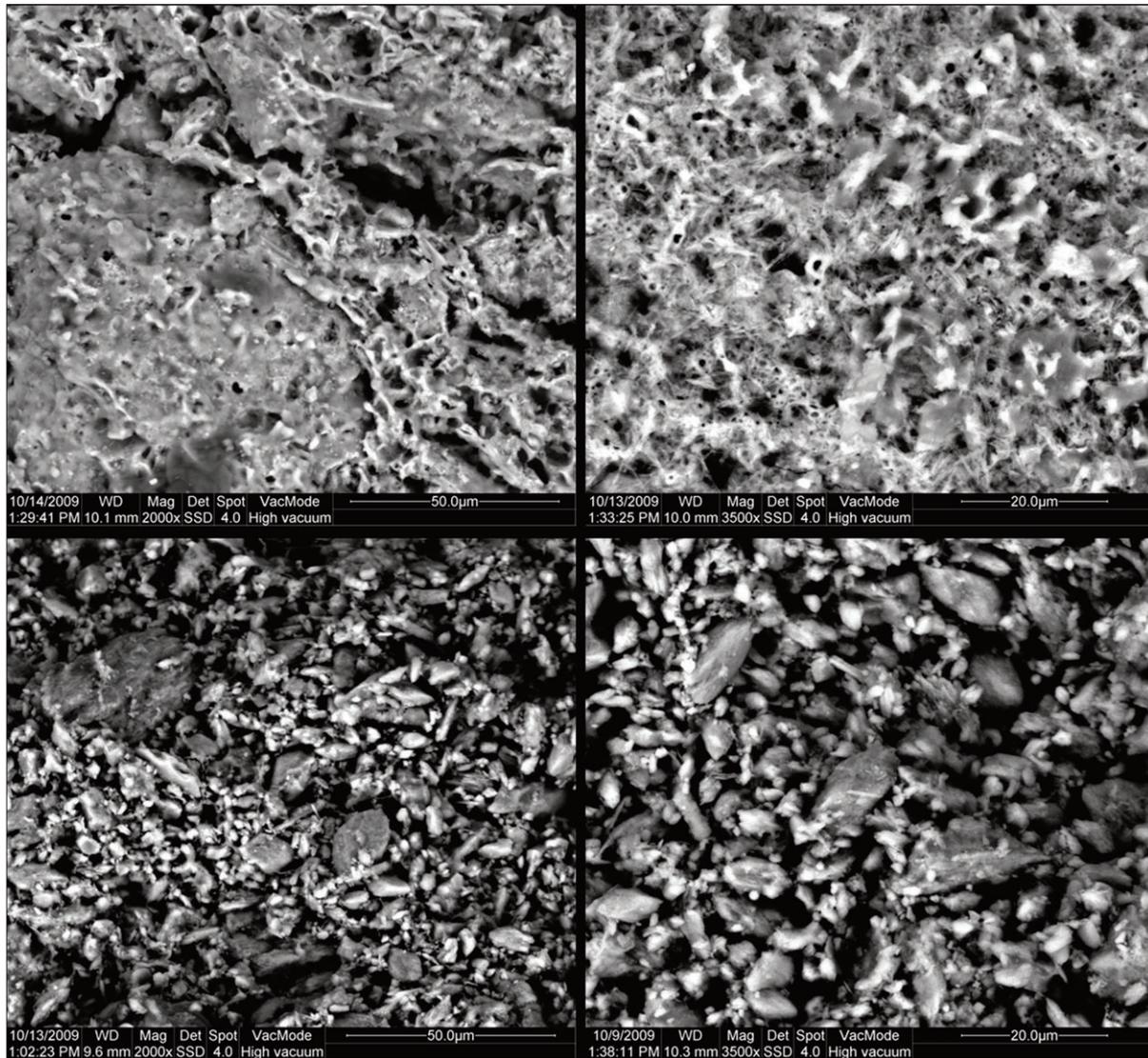


Fig. 9. Microfotografías obtenidas en Microscopio Electrónico de Barrido con electrones secundarios). Arriba (crisoles); Abajo (toberas).

blemente, también a la presencia de calcita que no ha terminado de descomponerse en su totalidad.

La evaluación de las imágenes obtenidas por el MEB ha confirmado las estimaciones sugeridas por el análisis mineralógico en lo que respecta a las diferencias entre crisoles y toberas.

Las muestras de crisoles evidencian en general una matriz en estado vitrificado, entre los rangos *Vitrificación Extensiva / Vitrificación Continuada* según los términos definidos por Maniatis y Tite (1981). En algunas muestras de crisoles es posible identificar la presencia de pequeñas vacuolas/poros menores de 5 micras, que evidencian un estado de vitrificación continuada, indicativo de

una temperatura elevada (Figura 9).

Las muestras de toberas, por el contrario, presentan una microtextura que se diferencia claramente de los crisoles, donde aún se puede identificar la típica estructura de laminillas de arcilla, pero donde ya se vislumbran los primeros cambios en sus bordes. Este estado de vitrificación inicial es congruente con la información aportada por la difracción (Figura 9).

VII. CONCLUSIONES

Los resultados arqueométricos permiten inferir algunas conclusiones de carácter preliminar para el conocimiento de los patrones de aprovi-

sionamiento de materia prima, características tecnológicas y utilización de los instrumentos cerámicos asociados a la producción metalúrgica en el Barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción:

-La información procedente del análisis petrográfico y químico sugiere la utilización de materia prima de origen local que puede ser captada en toda la zona del yacimiento arqueológico de Valencina de la Concepción, donde afloran los terrenos limo/arenosos y margosos de la denominada "Formación arenas de Huelva" (IGME, 1980; Galán y Pérez 1989). La presencia de microfósiles en la matriz de algunas muestras confirma la utilización de arcillas Miocenas de la depresión del Guadalquivir.

-No obstante, aparentemente, parece haber un tratamiento tecnológico diferenciado entre crisoles y toberas en la preparación de la pasta cerámica. El análisis macroscópico de los fragmentos de crisoles ha detectado en muchos de ellos restos de improntas de materia orgánica vegetal, lo que hace suponer su incorporación intencionada en la arcilla. Esta característica ha sido identificada en crisoles de otros contextos metalúrgicos, como es el caso del yacimiento de Göltepe (Yener y Vandiver, 1993), en Anatolia, con contextos metalúrgico del III Milenio A.N.E., o más recientemente en Politiko-Phorades (Hein *et al.* 2007), en Chipre, para contextos del siglo XVI/XV A.N.E. En este último, además, la investigación realizada sugiere una relación directa entre la porosidad relativa y la incorporación de materia orgánica vegetal durante el tratamiento de la pasta cerámica. El aumento de la porosidad suele estar relacionada con el intento de proporcionar a la cerámica una mayor resistencia al choque térmico (Rye 1981; Rice 1987; Skibo *et al.* 1989).

-Sin embargo, las diferencias tecnológicas entre crisoles y toberas no se reducen únicamente a la presencia de materia orgánica vegetal en crisoles. En éstos también se documentaron pequeños fragmentos de crisoles molidos (chamota) que han actuado como desgrasantes. Su tamaño y formato sugiere una incorporación deliberada en la pasta cerámica por parte de los artesanos, con el

objetivo de proporcionar a los crisoles una mayor resistencia a los cambios térmicos que estos instrumentos tienen que soportar. Al tratarse de cerámica cocida, con un coeficiente de expansión térmica similar a la propia arcilla, este tipo de material es el idóneo para reducir posibles microfisuras que podrían ser producidas por las elevadas temperatura (Tite *et al.* 2003).

-Las informaciones aportadas por el análisis mineralógico y la observación en MEB de fracturas frescas sugiere que los crisoles han estado sometidos a altos gradientes térmicos, que han podido alcanzar los 1000/1050°. Los estudios previos donde se han analizado, desde el punto de vista textural y químico, las adherencias escoriáceas de los crisoles del yacimiento de Cabezo Juré (Sáez *et al.* 2003), en la provincia de Huelva, han permitido corroborar la información ahora proporcionada. En relación a las toberas, esta información parece indicar temperaturas más reducidas. De igual forma, la presencia de una muestra procedente de un crisol (Cer-20), sin evidencias de uso, en el primer rango de temperatura (<800/850°) sugiere que estos instrumentos fueron sometidos probablemente a un proceso de cocción previa a su utilización como crisoles.

-Por último, estas soluciones tecnológicas utilizadas por los artesanos del barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción sugieren conocimientos muy avanzados sobre las propiedades térmicas y refractarias de las pastas cerámicas y de los elementos a ellas añadidos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer especialmente a D. Gonzalo Queipo de Llano y D. Daniel Lara Montero por parte de *Factum Novem* S.L. y a D. Juan Manuel Vargas Jiménez, Arqueólogo Municipal del Excmo. Ayuntamiento de Valencina de la Concepción, la constante y eficiente colaboración prestada así como la cesión de los materiales y registros arqueológicos para su estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTEAGA, O. y CRUZ-AUÑÓN, R. 1999: "El sector funerario de «Los Cabezueros» (Valencina de la Concepción, Sevilla). Resultados preliminares de una excavación de urgencia". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1995, III: 589-599.
- CAMUTI, K. y MCGUIRE, P. T. 1999: "Preparation of polished thin sections from poorly consolidated regolith and sediment materials". *Sedimentary Geology* 128: 171-178
- CICHELLA, D.; DE VIVO, B. y LIMA A., 2005: "Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoly (Italy)". *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 5: 29-40
- CRUZ-AUÑÓN, R. y ARTEAGA, O. 1999: "Acerca de un campo de silos y un foso de cierre prehistóricos ubicados en «La Estacada Larga» (Valencina de la Concepción, Sevilla). Excavación de Urgencia de 1995". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1995, III: 600-607.
- GALÁN, E. y PÉREZ, J. L. 1989: *Geología de Sevilla y alrededores y características geotécnicas de los suelos del área urbana*. Ayuntamiento de Sevilla. Sevilla.
- GONÇALVES, V. 1989: *Megalitismo e Metalurgia no alto Algarve Oriental. Uma aproximação integrada*. UNIARCH, Lisboa.
- HEIN, A.; KASSIANIDOU, V. y KILIKOGLU, V. 2007: "Chemical and Mineralogical Examination of Metallurgical ceramics from a Late Bronze Age copper smelting site in Cyprus". *Journal of Archaeological Science* 34 (1): 141-154.
- HUNT ORTIZ, M. A. 2003: *Prehistoric mining and metallurgy in south west Iberian Peninsula*. BAR International Series, 1188, Oxford.
- IGME 1980: *Mapa Geológico de España* (1:200000). Sevilla nº 75. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía.
- MANIATIS, Y. y TITE, M. S. 1981: "Technological Examination of Neolithic-Bronze Age Pottery from Central and Southeast Europe and from Near East". *Journal of Archaeological Science* 8: 59-76.
- MURILLO, T. 2006: *Historia e historiografía de un yacimiento de la Edad del Cobre: Valencina de la Concepción, Sevilla*. U.N.E.D., Centro Asociado de Sevilla.
- NOCETE, F. 2001: *Tercer Milenio antes de Nuestra Era. Relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*. Bellaterra. Barcelona.
- NOCETE, F. (coord.) 2004: *ODIEL. Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología nº 19. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F. 2005: *Andévalo. Patrimonio Arqueológico. El yacimiento de la Junta de los Ríos. Modelo de recuperación, análisis e interpretación del registro arqueológico en la presa del Andévalo*. Huelva. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- NOCETE, F. y LINARES, J.A. 1999: "Las primeras sociedades mineras en Huelva. Alosno". *Historia de la Provincia de Huelva*. Huelva, Editorial Mediterráneo: 49-64.
- NOCETE, F.; ORIHUELA, A.; PEÑA, M. y PERAMO, A. 1993: "Proyecto Odiel. Un año después (1991-1992). 3000-1000 a.n.e. Formaciones Sociales en Transición: Un modelo de análisis histórico para la contrastación del proceso de jerarquización social". En J.M. Campos y F. Nocete (coord.): *Investigaciones arqueológicas en Andalucía, 1985-1992, Proyectos*. Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Dirección General de Bienes Culturales, Huelva: 383-400.
- NOCETE, F.; LIZCANO, R.; ORIHUELA, A.; LINARES, J.A.; OTERO, R.; ESCALERA, P.; PARRALES, P. y ROMERO, J.C. 1999a: "I campaña de excavación arqueológica de Cabezo Juré (Alosno, Huelva)". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1994, II: 86-92.
- NOCETE, F.; ESCALERA, P.; LINARES, J.A.; LIZCANO, R.; ORIHUELA, A.; OTERO, R.; ROMERO, J.C. y SÁEZ, R. 1999b: "Estudio del material arqueológico de la primera campaña de excavación de C. Juré (Alosno, Huelva). Proyecto Odiel". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1994, II: 93-104.
- NOCETE, F.; LIZCANO, R.; LINARES, J.A.; ESCALERA, P.; ORIHUELA, A.; PÉREZ, J.M.; RODRÍGUEZ, M.; GARRIDO, N.; AQUINO, N.; ALCÁZAR, J.M. y ÁLEX, E. 2001: "Segunda Campaña de excavación arqueológica sistemática en el yacimiento de Cabezo Juré (Alosno, Huelva)". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1997, II : 107-111.
- NOCETE, F.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; LIZCANO, R.; BAYONA, MR.; ÁLEX, E. e INÁCIO, N. 2005a: "Nouvelles perspectives pour les analyses historiques de la première exploitation minière et de la première métallurgie dans la Péninsule Ibérique: La production du cuivre à Cabezo Juré (2900-2200 BC)". *CU+* 4: 24-28.
- NOCETE, F.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; CRUZ-AUÑÓN, R.; CABRERO, R.; ÁLEX, E. y BAYONA, M.R. 2005b: "Circulation of sili-cified oolitic limestone blades in South-Iberia (Spain and Portugal) during the third millennium B.C.: an expression of a core/periphery framework". *Journal of Anthropological Archaeology* 24: 62-81.
- NOCETE, F.; QUEIPO, G.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; INÁCIO, N.; BAYONA, M.R.; PERAMO, A.; VARGAS, J.M.; CRUZ, R.; GIL-IBARBUCCI, J.I. y SANTOS, J.F. 2008: "The smelting quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the specialised copper industry in a political centre of the Guadalquivir Valley during the Third millennium BC (2750-2500 BC)". *Journal of Archaeological Science* 35: 717-732.

- PAJUELO, A. y LÓPEZ, P.M. 2001: "Ideología y control político durante el III Milenio a.n.e. en el Bajo Guadalquivir". *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social* IV: 229-255.
- RICCARDI, M. P.; MESSIGA, B. y DUMINUCO, P. 1999: "An approach to the dynamics of clay firing". *Applied Clay Science* 15: 393-409.
- RICE, P. M. 1987: *Pottery Analysis. A Sourcebook*. University Chicago Press. Chicago.
- RODRÍGUEZ BAYONA, M. 2008: *La investigación de la actividad metalúrgica durante el III Milenio A.N.E. en el suroeste de la Península Ibérica. La Arqueometalurgia y la aplicación de análisis metalográficos y composicionales en el estudio de la producción de objetos de metal*. British Archaeological Reports (BAR), International Series 1769. Oxford.
- SÁEZ, R.; PASCUAL, E.; TOSCANO, M. y ALMODÓVAR, G.R. 1999: "The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits". *Mineralium Deposita* 34: 549-570.
- SÁEZ, R., NOCETE, F. NIETO, J. M., CAPITÁN, M.^a A. y ROVIRA, S. 2003: "The extractive metallurgy of copper from Cabezo Juré, Huelva, Spain: Geochemical and mineralogical study of slag dated to the Third Millennium B.C." *The Canadian Mineralogist* 41: 637-648.
- SÁEZ, R.; NOCETE, F. y CÁMALICH, M. D. 2004: "La captación de materias primas para la metalurgia de Cabezo Juré". En F. Nocete (Coord.): *ODIEL. Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología nº 19. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla: 265-271.
- SKIBO, J. M.; SCHIFFER M. B. y REID, K. C. 1989: "Organic-tempered pottery: an experimental study". *American Antiquity* 54-1: 122-146.
- TITE, M. S.; KILIKOGLU, V. y VEKINIS, G. 2003: "Strength, Toughness and Thermal Shock Resistance of Ancient Ceramics, and Their Influence On Technological Choice". *Archaeometry* 43(3): 301-324.
- VARGAS JIMÉNEZ, J.M. 2003: "Elementos para la definición territorial del yacimiento prehistórico de Valencina de la Concepción (Sevilla)". *Spal* 12: 125-144.
- YENER, K. A. y VANDIVER, P. B. 1993: "Tin Processing at Göltepe, an Early Bronze Age Site in Anatolia". *American Journal Archaeology* 97: 207-238.

CARACTERIZACIÓN DE PASTAS BLANCAS INCRUSTADAS EN DECORACIONES DE CAMPANIFORMES GALLEGOS. INDAGANDO SOBRE SU PROCEDENCIA

CHARACTERIZATION OF WHITE PASTE INFILLINGS IN GALICIAN BELL BEAKER POTTERY DECORATIONS. INVESTIGATING THEIR ORIGIN

Oscar Lantes-Suárez (1) / María Pilar Prieto-Martínez (2) / Antonio Martínez Cortizas (3)

(1) *Unidade de Arqueometría, RLAI DT, Universidade de Santiago de Compostela*

(2) *Grupo de Investigación Sin crisis, Dpto. de Historia I y Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente y Paisaje (IIT), Universidad de Santiago de Compostela*

(3) *Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultade de Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela*

RESUMEN: En este trabajo se exponen los resultados del análisis de 12 fragmentos de recipientes campaniformes con pasta blanca incrustada en su decoración. El cuerpo cerámico así como los restos de pasta blanca se analizaron por microscopía electrónica de barrido con microsonda elemental acoplada, para estudiar la microestructura de las pastas y realizar mapas de composición elemental, y por difracción de rayos X de polvo cristalino para conocer la composición mineralógica de la fase cristalina. Los resultados muestran que las materias primas pueden provenir de una o dos fuentes litológicas y que la composición de las pastas blancas es siempre diferente de la de los cuerpos cerámicos. O bien la mineralogía de la pasta es diferente de la del cuerpo o bien es similar pero la abundancia de algunos minerales arcillosos es mucho mayor. El estudio de la litología del entorno permitió establecer posibles procedencias de las materias primas utilizadas comprobando que las fuentes pueden ser locales.

SUMMARY: In this paper we present the results of the analysis of white pastes infilling decoration features of 12 fragments of bell beaker recipients from NW Spain. Both the pastes and the body of the recipient were analyzed by scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM-EDX) and by X-ray diffractometry (XRD). The first technique enabled the study of the paste microstructure and the mapping of elemental compositions, and the second enabled the characterization of the mineralogical composition of crystalline phases of the pastes. The results show that the composition of the white pastes is always different to that of the recipient body: 1) or the mineral composition was different, or 2) the mineral composition was similar but the abundance of clay minerals was much greater. The analyses also suggest that the white pastes may have one or two lithological sources. The comparison with the geological materials of the areas surrounding the archaeological sites where the ceramics were found points to a local provenance for the raw matter.

PALABRAS CLAVE: Pasta Blanca, Campaniforme, Galicia, Procedencia, Microscopía Electrónica de Barrido, Difracción de rayos X.

KEY WORDS: White pastes, Bell Beaker, Galicia (NW Spain), provenance, SEM-EDX, XRD.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto titulado 'Aplicación de técnicas arqueométricas al estudio de la cerámica antigua de Galicia' que tiene como objetivo la caracterización de cerámica gallega desde el Neolítico Medio hasta la Alta Edad Media por medio de técnicas arqueométricas (un estudio preliminar puede encontrarse en Martínez-Cortizas *et al.* 2008; Prieto *et al.* 2009).

Un aspecto relevante en la caracterización de la cerámica es la detección de incrustaciones de

pasta blanca. La incrustación es una técnica específica usada para la decoración de cerámica ornamentada utilizada a lo largo de los diversos períodos prehistóricos y culturas y especialmente frecuente en la época campaniforme (Tabla 1). En la mayoría de los casos los estudios sólo citan la presencia de restos de pastas sin determinar su composición. De las principales referencias bibliográficas que aluden a la presencia de incrustaciones en las decoraciones, sólo en el caso de una vasija neolítica se especifica que la composición es rica en calcio (Domingo *et al.* 2007). En cerámicas del período calcolítico, González y Barroso (1996-

Yacimiento	Época	Decoración	Composición	Nº piezas	Referencia
Cova de L'or (Alicante)	Neolítico	incisa	rica en Ca	1	Domingo <i>et al.</i> 2007
Cova Petroli (Castellón)	Neolítico medio	n.r.	n.a.	1	Aguilella 2002-2003
Cueva de las Ventanas (Granada)	Neolítico	almagra, cardial, incisa	pasta roja/blanca	varias	Álvarez 2004
n.c. (Granada)	Neolítico	incisiones, Impresiones	pastas rojas	varias	Navarrete 1991 (tomado de Bevan 2007)
Bélgida (Valencia)	Eneolítico	incisa	n.a.	varias	Jornet 1989
Cerro de S Pelayo (Salamanca)	Calcolítico	campaniforme	pasta roja/blanca	varias	López 2003
Cerro de S. Pelayo (Salamanca)	Calcolítico	campaniforme	pasta roja/blanca	varias	López y Benet 2004
El Sotillo (Alava)	Calcolítico	incisión	n.a.	1	Plazaola 1999
Los Molinos de Papel (Murcia)	Calcolítico	campaniforme	n.a.	varias	Pujante 2005
San Bernardino (Cuenca)	Calcolítico	campaniforme (incisión)	n.a.	2	Aceituno <i>et al.</i> 1998
San Blas (Badajoz)	Calcolítico	puntillada	n.a.	1	Hurtado 2004
San Cristobal (Cáceres)	Calcolítico	incisa/impresa	caolín	varias	González y Barroso 1996-2003
Mina de Parxubeira (A Coruña)	Bronce Inicial	campaniforme impreso	n.a.	1	Rodríguez 1989
Yacimientos de la Sierra de O Bocelo (A Coruña)	Bronce Inicial	campaniforme impreso	n.a.	varias	Prieto 1999a, 1999b
Cova Petroli (Castellón)	Bronce Inicial	?	n.a.	1	Aguilella 2002-2004
Los Palomares (Segovia)	Bronce Inicial	bruñida	indicios de pastas blancas	varias	Blanco 2005
Cogotas I (Madrid)	Bronce Final	n.r.	n.a. (restos de yeso anexos)	varias	Blanco <i>et al.</i> 2007
La Manchuela (Albacete)	Bronce Final	Incisa	n.a.	1	Soria y Mata 2001-2002
Crevillente (Valencia)	Bronce	incisa	pasta roja/blanca	varias	González 1985
Los Dornajos (Cuenca)	Bronce	n.r.	n.a.	varias	Garcés y Galán 1991
Cuenca Mediterránea	Bronce	variada	clorita, enstatita, caliza, yeso, travertino	varias	Potts <i>et al.</i> 2003
n.r.	Edad del Hierro	excisa	n.a.	n.r.	Almagro 1939
Valle del Ebro (Aragón)	Edad del Hierro	incisa, estampillada...	n.a.	varias	Rodanés y Picazo 1997

Tabla 1: Referencias bibliográficas de pastas blancas incorporadas en cerámica prehistórica procedente de yacimientos españoles (n.c.: no citan; n.a.: no analizan; n.r.: no revisado).

2003) identificaron únicamente calcita en varias piezas de un yacimiento de Extremadura. En cerámicas de la Edad del Bronce, Blanco *et al.* (2007) citan presencia de restos de yeso, y Potts *et al.* (2003) identificaron enstatita, clorita, caliza, yeso y travertino en pastas de cerámicas de la cuenca mediterránea. En cerámicas de la Edad del Hierro también se encontraron restos de pastas blancas (Almagro 1939; Rodanés y Picazo 1997). En el caso de Galicia, Rodríguez (1989) y Prieto (1999a, 1999b) citan la presencia de pastas blancas en cerámicas de varios yacimientos campaniformes, pero no se aportan datos sobre su composición.

La caracterización de las incrustaciones (en especial pastas blancas), con la aplicación de diversas técnicas analíticas, es tratada en profundidad en algunos trabajos recientes. Gherdán *et al.* (2003), Sziki *et al.* (2003) y Roberts *et al.* (2008) analizaron muestras de diversos períodos culturales de yacimientos húngaros (en especial de la Edad del Bronce) y encontraron composiciones

de calcita e hidroxiapatito (hueso) principalmente, aunque en ocasiones también de caolinita.

En la Península Ibérica, Odriozola y Hurtado (2005) demuestran que el hueso es la principal materia prima que se usó en cerámica campaniforme de la cuenca media del Guadiana contrastando con la tradicional identificación de calcita detectada en cerámicas en Ciempozuelos (Blasco 1994), Andalucía Occidental (Lazarich 1999), La Meseta (Martín y Delibes 1989) y en Francia (Salanova 2000). Asimismo, Odriozola (2008) encontró la misma naturaleza para las incrustaciones blancas de la cerámica campaniforme del yacimiento de Perdigões (Portugal).

En este trabajo se caracteriza mineralógica y geoquímicamente el cuerpo y las pastas blancas de incrustación de recipientes campaniformes, y se examinan las similitudes/diferencias composicionales entre la incrustación y la cerámica. Esto permite obtener información sobre los posibles

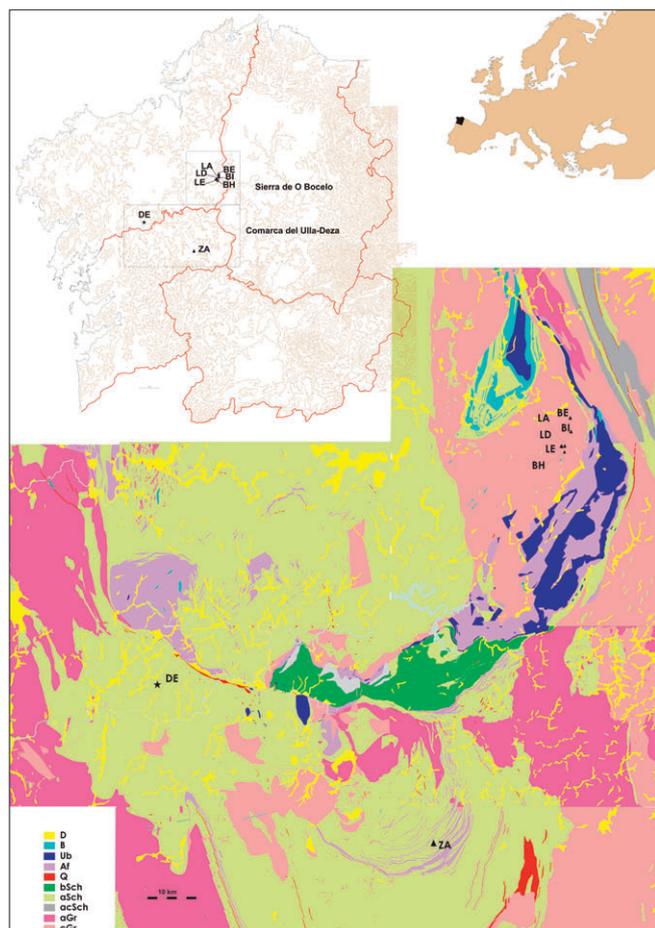


Fig. 1. Localización de los yacimientos y detalle de la litología del área circundante (síntesis elaborada a partir de los mapas geológicos IGME 1:50.000 del área).

procesos de selección en la elaboración de las pastas. Asimismo, estudiando la litología del entorno se sugieren posibles áreas fuente. Finalmente, se evalúa la idoneidad de las técnicas analíticas aplicadas.

II. PRESENTACIÓN GENERAL DEL CONTEXTO Y MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Los doce recipientes campaniformes con incrustaciones de pastas blancas analizados proceden de siete yacimientos situados en el centro de Galicia, en un área que abarca unos 4500 km². Cinco de ellos pertenecen a la Sierra de O Bocelo (Toques, A Coruña) y dos, Zarra de Xoacín (Lalín, Pontevedra) y Devesa do Rei (Vedra, A Coruña), se sitúan en la Comarca del Ulla-Deza (Figura 1, Tabla 2).

La Sierra de O Bocelo presenta una superficie de unos 50 km², con una orientación NE-SW.

Tiene una altitud media de 650-700 m s.n.m. Los yacimientos se sitúan en zona de valle, próximos a divisorias de aguas y vinculados a pequeñas cuencas que presentan *brañas* en su base (Méndez 1991). En esta zona se localizan cinco de los yacimientos estudiados en este trabajo. Tres de ellos ofrecen material en superficie y se corresponden probablemente con áreas de actividad domésticas al aire libre (Méndez 1991, Prieto 1999a): PA179 (BE), PA224 (BH) y PA176 (BI). El área arqueológica de A Lagoa está conformada por 5 puntos arqueológicos (PAs) distribuidos en torno a una *braña* ocupando unas 8 hectáreas. Estos 5 PAs articulan 3 yacimientos (1º: PA44.01 (LD) + PA44.04 (LE); 2º: PA45.01 (LA) + PA45.04; 3º: PA45.03). Los tres responden a las características propias de los asentamientos domésticos (ver en detalle: Méndez 1994, 1998). La abundancia de materiales cerámicos y su variedad formal hacen que A Lagoa sea clave para entender a las comunidades campaniformes de esta región de la Península Ibérica (Prieto 1999a, 1999b).

La Comarca del Ulla-Deza es un área mucho mayor y geográficamente más compleja que se ubica en la Galicia meridional interior transitando a través del valle del Ulla y de las tierras altas de la comarca de Trasdeza. Dentro de esta comarca se localizan dos yacimientos de este trabajo. El primero, Zarra de Xoacín (Za) (Lalín, Pontevedra) (Aboal *et al.* 2004-5), es un área doméstica ocupada en el Neolítico Final (2912-2696 BC) y en la Edad del Bronce Inicial (2497-2287 BC). En este yacimiento se registraron 99 recipientes, 86 del Neolítico Final y 13 del Bronce Inicial. Y el segundo, Devesa do Rei (De) (Vedra, A Coruña) (Aboal *et al.* 2005), es un yacimiento de larga duración en el que se registraron cinco momentos de actividad y diversa funcionalidad. La fase campaniforme está encuadrada entre el 2020 y el 1750 BC, desarrollándose una actividad de carácter ceremonial con apenas estructuras asociadas pero abundante material cerámico y lítico (el 76% del material documentado se adscribe a la fase campaniforme).

La litología del entorno de la Sierra del Bocelo y de la Comarca del Ulla-Deza es extremadamente variada abarcando rocas de mineralogías

Yacimientos	Código	Contexto	Nº de recipientes	Nº de campaniformes	Nº de muestras con pasta blanca
Devesa do Rei	De	Ceremonial	103	29	1
Zarra de Xoacín	Za	Doméstico	13	13	2
A Lagoa (PA45.01)	LA	Doméstico	169	53	4 muestras de 3 recipientes
A Lagoa (PA44.01 + PA44.04)	LD + LE	Doméstico	27+ 154	15 + 90	1 + 2
Bocelo- PA179 (prospección)	BE	Doméstico (probable)	12	8	1
Bocelo- PA224 (prospección)	BH	Doméstico (probable)	2	1	1
Bocelo- PA176 (prospección)	BI	Doméstico(probable)	2	1	1

Tabla 1. Síntesis de los yacimientos, contextos y piezas (PA: Punto Arqueológico).

muy ácidas, como diques de cuarzo, a rocas ultrabásicas, como las serpentinitas. En la figura 1 se representa una síntesis de la geología del área en la que se agrupan las rocas según su afinidad mineralógica, estableciendo nueve grupos litológicos, a los que se adjuntan la leyenda correspondiente en el mapa: granitos alcalinos (cGr: granitos, ortoneises, rocas filonianas), granitos calcoalcalinos (cGr: granodioritas...), esquistos ácidos (aSch: pizaras, esquistos, paraneises), esquistos ácidos carbonosos (aSch), esquistos básicos (bSch), anfibolitas (Af), rocas básicas (B), rocas ultrabásicas (Ub) y materiales detríticos (D: Cuaternario). Es de des-

tacar la ausencia de materiales de sedimentación de la Era Secundaria y Terciaria.

Hay más de cincuenta minerales presentes en el área, de los cuales, 15 son minerales principales en gran parte de las rocas, destacando en los grupos más ácidos el cuarzo, feldespato potásico, moscovita, sericita, biotita, plagioclasa, clorita y granate, y en los grupos más ultrabásicos el anfíbol, piroxeno, olivino, antigorita, crisotilo y talco. Las rocas con mayor riqueza de minerales accesorios son los granitos y los esquistos. La mineralogía de los materiales de alteración de las rocas es

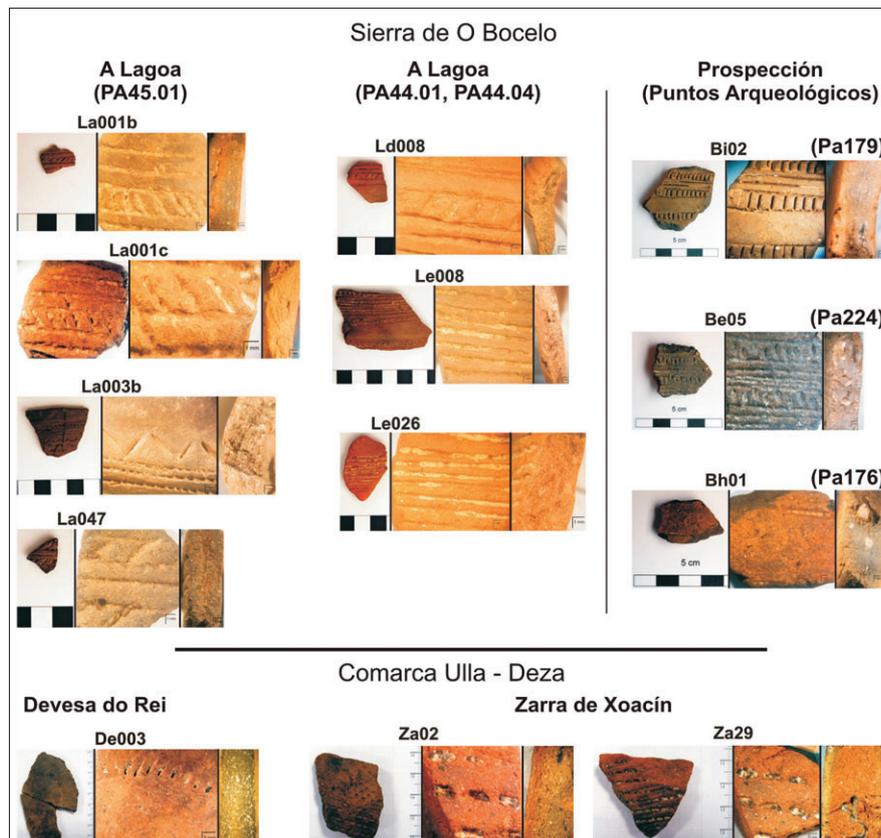


Fig. 2. Fotografías de detalle de las piezas por su cara externa, interna y en sección.

Código Muestra	Yacimiento	Código Recipiente	Código Pieza	Grosor	Morfología	Parte Ccharro	Instrumento
BE05	Bocelo PA179 (prospección)	CA179/005	B.179.1/51	7	vaso	panza	peine y punzón
BH01	Bocelo PA224 (prospección)	CA224/001	B.224/2	5	vaso	panza	peine y punzón
BI02	Bocelo PA176 (prospección)	CA176/002	B.176.1/1	5	vaso	cuello	peine
DE003	Devesa do Rei	CADEV003	PZDEV03a725, a767, a836	8	plato	panza	punzón
LA001b	A Lagoa (PA 45.01)	CA45.01/001	PZ45.01/76/13	3	vaso	panza	peine
LA001c	A Lagoa (PA 45.01)	CA45.01/001	PZB45.01/156	4	vaso	panza	peine
LA003b	A Lagoa (PA 45.01)	CA45.01/003	PZ45.01/76/8	6	cazuela	panza	peine y punzón
LA047	A Lagoa (PA 45.01)	CA45.01/047	PZ45.01/64/1	5	vaso	panza	peine
LD008	A Lagoa (PA 44.01)	CA44.01/008	PZB44.01/100	5	vaso	panza	peine y punzón
LE008	A Lagoa (PA 44.04)	CA44.04/008	PZ44.04/10/16	5	cazuela	panza	peine y punzón
LE026	A Lagoa (PA 44.04)	CA44.04/026	PZ44.04/22/64	7	cazuela	panza	peine, concha (zamburiña)
ZA02	Zarra de Xoacín	CAZAX002	PZZAX01a0258	8	vaso	panza	peine
ZA29	Zarra de Xoacín	CAZAX029	PZZAX01a0798	9	vaso	panza	peine
Código Muestra	Textura		Desgrasante			Color	
	Aspecto global	Abundancia	Angulosidad	Distribución	Exterior	Interior	Sección
BE05	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	pardo-oscuro	negruzco	pardo oscuro
BH01	compacta	muy abundante	anguloso	homogénea	negruzco	negruzco	negruzco
BI02	compacta	escaso	anguloso	homogénea	rojizo	negro	pardo amari- lento
DE003	compacta	muy abundante	anguloso	homogénea	pardo-rojizo	negro y parduzco	pardo rojizo
LA001b	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	pardo-negruzco	negruzco	pardo
LA001c	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	parduzco	parduzco	parduzco
LA003b	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	negruzco	negruzco	negruzco
LA047	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	negruzca	negro (+puntos rojos)	pardo-ne- gruzco
LD008	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	rojizo	negruzca	rojizo
LE008	compacta	inapreciable	inapreciable	homogénea	rojizo	rojizo	rojizo
LE026	compacta	muy abundante	inapreciable	homogénea	rojizo	rojizo	rojizo
ZA02	compacta	muy abundante	anguloso	homogénea	negruzca	negruzca	pardo ne- gruzco
ZA29	compacta	abundante	inapreciable	homogénea	rojiza	rojiza	rojiza-ne- gruzca

Tabla 3. Descripción sintética de las piezas analizadas que contienen pasta blanca.

similar a la del substrato litológico, con la consiguiente evolución minerogeoquímica derivada de una meteorización intensa. Las arcillas de neoforación suelen ser caoliníticas, incluso si se forman a partir de materiales ultrabásicos, siendo el talco y la esteatita productos de alteración hidrotermal. La presencia de sales cristalizadas y carbonatos en los suelos es nula, debido al drenaje excesivo y la acidez (pH 4,5-5,5).

III. LAS MUESTRAS

Se han analizado 12 recipientes (13 fragmentos) de factura manual (Tabla 3, Figura 2). Todos ellos tienen decoración compleja predominando la técnica de impresión, salvo en Devesa do Rei donde se combina incisión e impresión. La mayoría de los fragmentos son panzas de vasos y, en menor medida, cazuelas; únicamente se docu-

menta un plato. Las texturas son compactas con abundantes desgrasantes de hábito anguloso que no suelen superar el milímetro de grosor y se distribuyen homogéneamente. En relación al color, las superficies varían enormemente de tonalidades, desde muy negruzcas a rojizas. Por lo general, se conservan pequeñas cantidades de las pastas blancas de relleno.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

Los fragmentos cerámicos fueron fotografiados y caracterizados formalmente, se midieron sus dimensiones y se registró su color exterior e interior. Posteriormente se fragmentó la pieza para evaluar y fotografiar el corte fresco y después se pulió (en los casos en que había muestra disponible) con una fresa de punta de polvo de diamante para repetir los mismos pasos en el corte pulido. A continuación se sometió la superficie decorada de los fragmentos al análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB), que incluyó la toma de micrografías de algunos elementos de la decoración que conservaban pasta blanca así como la elaboración de mapas de composición elemental para evaluar cambios en la distribución espacial de los principales elementos químicos. También se recogieron espectros en puntos de la pasta blanca y puntos del cuerpo cerámico para comparar su composición elemental. El equipo utilizado es un SEM LEO-435VP con microanálisis acoplado (EDX) y una magnificación comprendida entre 15 y 290 aumentos en presión variable. La intensidad de trabajo fue variable y el voltaje se fijó en 20 Kv.

Posteriormente, parte de los fragmentos cerámicos se molieron hasta un tamaño de partícula de 100 μm , separando previamente con un bisturí la pasta blanca. Las muestras en polvo se analizaron en difracción de rayos X de polvo cristalino. La pasta blanca, separada previamente, también se analizó con esta técnica. El equipo utilizado en estas medidas es un difractómetro Philips PW1710 con goniómetro vertical PW1820/00 de geometría Bragg-Brentano $\theta/2\theta$, generador de 2,2 Kw, ánodo de Cu tipo PW 2773/00, detector proporcional PW1711/10 y monocromador de grafito PW1752/00. El tiempo de medida fue de 3 segundos por paso, con un paso de $0,02^\circ$ de 2θ cubriendo un rango angular de 2° a 65° de 2θ .

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopía electrónica de barrido

La microscopía electrónica de barrido fue aplicada como primera técnica evaluativa. Acoplada al sistema EDX proporciona información elemental de la superficie de la decoración. Se realizó una microfotografía electrónica en las zonas con pasta blanca y se verificó que ésta era, por lo general en todas las muestras, de textura fina y homogénea, con cristales de tamaños pequeños distribuidos homogéneamente sobre una matriz amorfa o criptocristalina. Posteriormente, se hicieron mapas de composición elemental en las mismas áreas, para los elementos químicos detectados. En la mayoría de ellos no se encontraron diferencias de concentración entre la zona del cuerpo cerámico y la de pasta blanca incrustada.

Destaca el enriquecimiento de Mg en la pasta blanca de las piezas Be05, Bh01, Bi02, La047, Ld008, Le008, Le026, Za02 y La001c (Figura 3). En estas mismas muestras se apreció un empobrecimiento en Al en la incrustación, salvo para la pieza La001c en la que no se apreciaron cambios. En las muestras La001b y La003b se apreciaron empobrecimientos en Al y Si en la pasta blanca y en las muestras De003 y Za029 no se apreció ninguna diferencia elemental entre ambos materiales (pasta y cuerpo). Se debe ser cauteloso con la interpretación de los mapas de composición elemental, ya que diferencias topográficas como huecos, bandeados o irregularidades, pueden dar la sensación de un empobrecimiento elemental, cuando sólo se trata de una disminución de la masa efectiva de muestra.

Otra variante del análisis MEB-EDX que se aplicó fue el microanálisis puntual realizado sobre el cuerpo cerámico y la incrustación. Un ejemplo de ello se da en la misma Figura 3 para la muestra Be05, donde en el primer espectro destaca claramente un pico elevado de Mg y uno pequeño de Al, mientras que en el microanálisis del cuerpo cerámico se invierte la situación, siendo el pico de Mg el más pequeño. Una vez realizado en todas las muestras se comprobó que era menos resolutivo

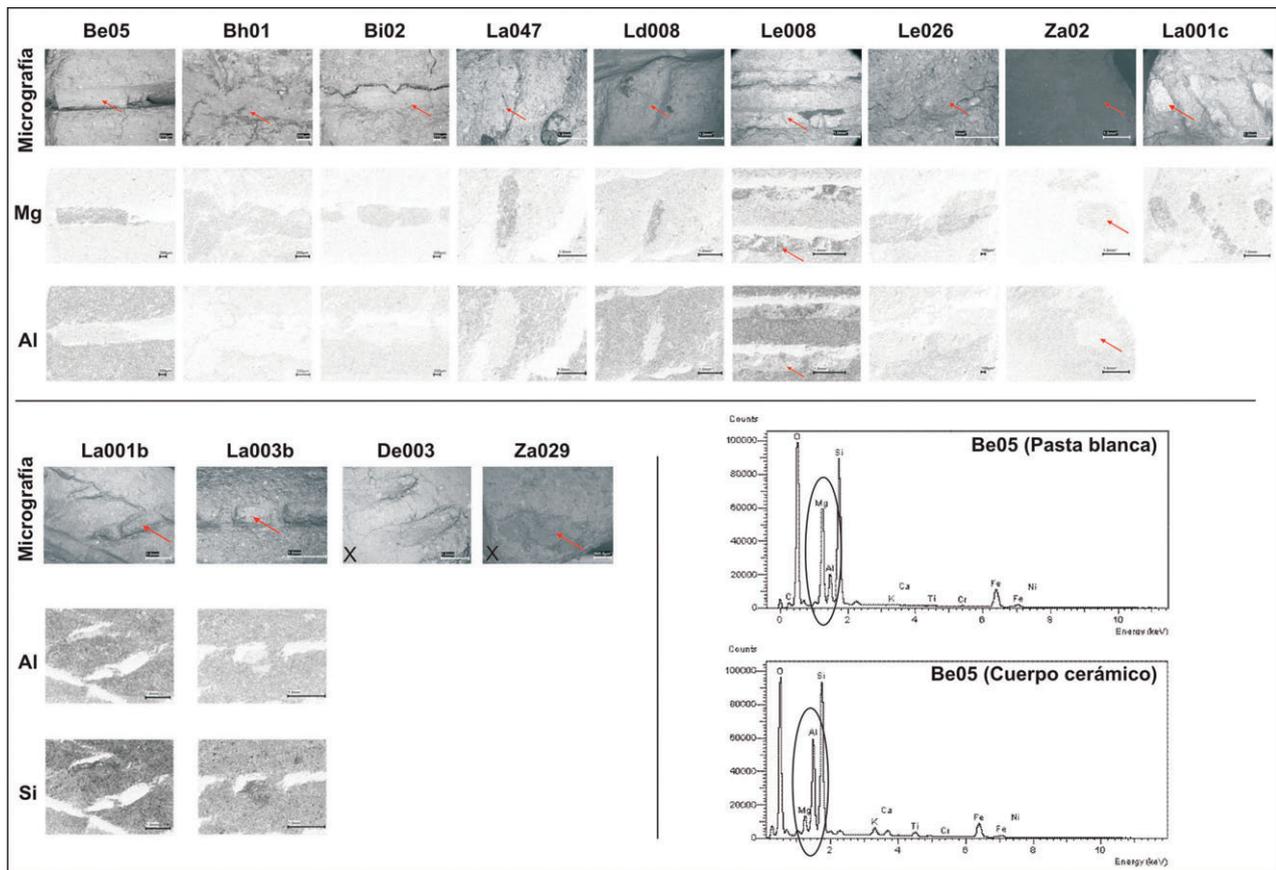


Fig. 3. Microfotografías MEB de las pastas blancas, mapas de composición elemental de los elementos en los que se han apreciado diferencias de concentración y espectros puntuales de las muestras.

que los mapeos, ya que no se apreciaron diferencias en la concentración del Mg y del Al en las piezas La047, Ld008, Le008 y Za02, que sí se habían observado anteriormente. Esta pérdida de resolución se debe a que el microanálisis es puntual, y en muestras con cierta heterogeneidad en la distribución del desgrasante es más difícil obtener un buen promedio en las concentraciones.

Así pues, los resultados de esta parte del estudio indican que en 8 piezas (Be05, Bh01, Bi02, La047, Ld008; Le008, Le026, Za02, La001c) de 6 yacimientos la incrustación es más rica en Mg y más pobre en Al, en 2 piezas (La001b, La003b) del mismo yacimiento no se aprecia enriquecimiento en Mg, pero sí menores concentraciones de Al y de silicio y, finalmente, en 2 piezas (De003, Za029) de 2 yacimientos no se observa ninguna diferencia en la composición elemental entre la pasta blanca y el cuerpo cerámico. Estos primeros datos indican que existen diferencias composicionales en la mayoría de las pastas blancas y que éstas deben contener algún mineral rico en Mg.

Difracción de rayos X

El análisis por difracción de rayos X requiere un micromuestreo cuidadoso de la incrustación blanca para asegurar que su composición no se contamine por la del cuerpo cerámico y viceversa. En conjunto, se identificaron 14 minerales (Tabla 4) que son típicos de litologías que van de ácidas a ultrabásicas. Los minerales más frecuentes son el cuarzo, la plagioclasa, los anfíboles, el talco y la clorita. Con una frecuencia intermedia estarían las micas, las serpentinas y los feldespatos potásicos; mientras que la esmectita, la caolinita, la haolisita, el diópsido (un piroxeno monoclinico), la clinzoisita y la estatita son muy poco frecuentes.

Los cuerpos presentan cuatro tipos de combinaciones de minerales dominantes: 1) cuarzo y plagioclasa (cuarzo dominante o co-dominante: Be05, Bh01, Bi02, La047, Za29), 2) plagioclasa (cuarzo secundario: La001b, La001c; con presencia de anfíbol: La003b, Ld008, Le008 y Le026), 3) cuarzo (De003, con feldespato potásico y halo-

	Esm	Clor	Mic	Talc	Anf	Serp	Kao	Hal	Cua	Fel K	Plag	Diop	Clinoz	Est	
Be05					11				45	8	36				CC
		11		31		35			6		7	10			PB
Bh01			1	3	6				42	10	36				CC
		6		69	5				4		8			8	PB
Bi02					11				44		45				CC
		6		33	7	10			16		27				PB
De003			2					20	49	24	5				CC
			6				26		48	19					PB
La001b					16	4			24		56				CC
		4		34	19	4			4		34				PB
La001c		2		3	13	2			25		54				CC
				99,8					0,2						PB
La003b		3		3	17	8			15		54				CC
		12		41	14	3			15		15				PB
La047					14				50		36				CC
		6		91					3						PB
Ld008		2		7	15	10			21		44				CC
				81	19										PB
Le008		6		6	15	7			21		46				CC
	19	8		38	16	9			10						PB
Le026					11				17		59		14		CC
		4	4	85	7										PB
Za02					54				27		20				CC
				65	31				3						PB
Za29			4		5			16	56		19				CC
			3				58		39						PB

Tabla 4. Mineralogía de las pastas blancas (PB) y los cuerpos cerámicos (CC): abundancia relativa semicuantitativa (%), en la fracción cristalina. Esm: esmectita, Clor: clorita, Mic: mica, Talc: talco, Anf: anfíbol, Serp: serpentina; Kao: caolinita, Hal: haloisita, Cua: cuarzo, Fel K: feldespato potásico, Plag: plagioclasa, Diop: diópsido; Clinoz: clinzoisita, Est: estatita.

sita), y 4) anfíbol (Za02, con cuarzo y plagioclasa). Destaca la detección de pequeñas cantidades de talco en la mineralogía de los cuerpos cerámicos de cinco piezas (Bh01, La001c, La003b, Ld008, Le008). La mineralogía de las pastas blancas, por el contrario, está dominada por el talco, el cual es el mineral mayoritario en todas las pastas menos dos. En las pastas blancas de las muestras De003 y Za29 predominan la caolinita y el cuarzo. Otros minerales que estaban sólo presentes en las pastas blancas o en una abundancia mayor que en los cuerpos son (Tabla 4): clorita (8 muestras), la citada caolinita (2), esmectita (1), diópsido (1), clinzoisita (1) y enstatita (1).

Parece claro, entonces, que en todos los casos las materias primas utilizadas para elaborar los cuerpos cerámicos y sus pastas blancas fueron diferentes. Esto demuestra que se hicieron diferentes selecciones a la hora de elaborar la pasta blanca, bien eligiendo materiales de mineralogía

diferenciada —la mayoría de las pastas blancas—, bien mediante la selección de arcillas enriquecidas en ciertos minerales. Dado el predominio de la plagioclasa, la materia prima de los cuerpos podría proceder de materiales calcoalcalinos en su gran mayoría, pero también de materiales alcalinos (De003) o anfibólicos (Za02), detectando cierto nivel de mezcla al menos en las cerámicas en las que se identificó talco, ya que este mineral no es un componente típico de estos materiales litológicos (en Bh01, La001c, La003b, Ld008 y Le008). Los materiales de las pastas podrían proceder de materiales ultrabásicos, con la excepción de las muestras De003 y Za029 en que podrían ser de naturaleza ácida (aunque la caolinita es el principal producto de meteorización de la mayor parte de los materiales geológicos del área de estudio).

La presencia de caolinita en las incrustaciones de dos de las cerámicas sugiere que la cocción se habría realizado en dos etapas, primero el reci-

piente y posteriormente, la incrustación de la pasta blanca. En el cuerpo cerámico no se detectó la caolinita que es el mineral de la arcilla dominante en los productos de alteración del entorno de los yacimientos. Su ausencia indica una temperatura de cocción superior a 550 °C. Por el contrario, la caolinita estaba presente en la pasta blanca, lo que sugiere que debió de ser añadida una vez cocida la pieza, con un posterior recocido a temperaturas inferiores para fijar la incrustación a la decoración.

Adicionalmente, los resultados del estudio mineralógico presentan una alta coherencia con los datos obtenidos por microscopía electrónica; en particular en aquellas muestras en las que se apreciaron altas concentraciones de Mg en las pastas blancas, ya que coincide con una mayor abundancia de minerales que contienen este elemento químico en sus estructuras. Pero, aunque la microscopía MEB-EDX permite apreciar diferencias de composición, no informa sobre la mineralogía y en algunos casos las diferencias están apantalladas. Así, en las muestras La001b y La003b existe un enriquecimiento en talco, que no estaba acompañado por una mayor concentración de Mg en los mapas de composición elemental, pues el propio cuerpo cerámico también contiene este mineral.

Relación con los materiales del entorno y posibles fuentes de materias primas

La litología del área de estudio es muy variada, abarcando rocas y materiales de alteración de ácidos a ultrabásicos (Figura 1). Los materiales de alteración responden a la mineralogía de los substratos de los que proceden, con los correspondientes enriquecimientos en minerales arcillosos resultantes de la alteración. Las composiciones mineralógicas que hemos obtenido para los cuerpos cerámicos y las pastas blancas se encuadran perfectamente con los grupos litológicos del entorno de los yacimientos (Figura 4). Los yacimientos de O Bocelo (incluyendo A Lagoa) están situados en un área anfíbólica y ultrabásica y la mineralogía de sus cerámicas se corresponden con las mineralogías asociadas a estas litologías. Por el contrario, el yacimiento de Devesa do Rei se sitúa en un área de esquistos ácidos y las composiciones de sus cerámicas son alcalinas, y finalmente, Zarra de Xoacín se sitúa

en intercalaciones de esquistos ácidos y anfibolitas, teniendo sus cerámicas composiciones afines, salvo algunos de los componentes mineralógicos del recipiente Za02, que no se encuentran *in situ*.

En base a la información mineralógica de las cerámicas y los grupos litológicos del entorno se han podido establecer unos radios mínimos de aprovisionamiento de materias primas. En todos los casos, consideramos altamente probable que acudiesen a los horizontes C de los suelos y a los materiales de alteración de las rocas, dada la similitud de estos materiales con la geoquímica y mineralogía encontrada en las cerámicas. Además, se descarta que acudan a materiales sedimentarios aluviales y fluviales, ya que el análisis textural muestra desgrasantes angulosos en todas sus caras y no redondeados, que serían los típicos en este tipo de sedimentos.

En los yacimientos del Bocelo (Be, Bh, Bi) y de A Lagoa (La, Ld+Le) se comprueba que la obtención de la materia prima para la elaboración tanto de los cuerpos cerámicos como de las pastas blancas puede haber sido bien *in situ*, o bien en distancias que no exceden los 3 km. En Devesa do Rei, en cambio, tendrían que haberse desplazado, al menos, unos 7 km para obtener la materia prima necesaria tanto para elaborar el cuerpo cerámico como la pasta blanca. En Zarra de Xoacín lo más probable es que las arcillas y desgrasantes se hayan obtenido en las inmediaciones del propio yacimiento pero parte de los componentes de la pasta blanca (los ultrabásicos) tuvieron que obtenerse a unos 17,5 km al NW una (un área de materiales ultrabásicos) o bien a unos 30 km al NE la otra (en la Sierra de O Bocelo). Esta última posibilidad no es descartable, dado que la pieza de Zarra de Xoacín presenta una composición similar, tanto de la pasta blanca como del cuerpo cerámico, a la de los recipientes analizados de esa zona. Tampoco sería descartable un intercambio de la pieza ya confeccionada entre ambos yacimientos.

Por lo tanto, con el interrogante de la pieza Za02, se puede asumir que todas las cerámicas tienen un origen local, dada la coherencia entre la mineralogía de las posibles áreas fuentes y la mineralogía de las cerámicas y las pastas blancas de sus decoraciones.

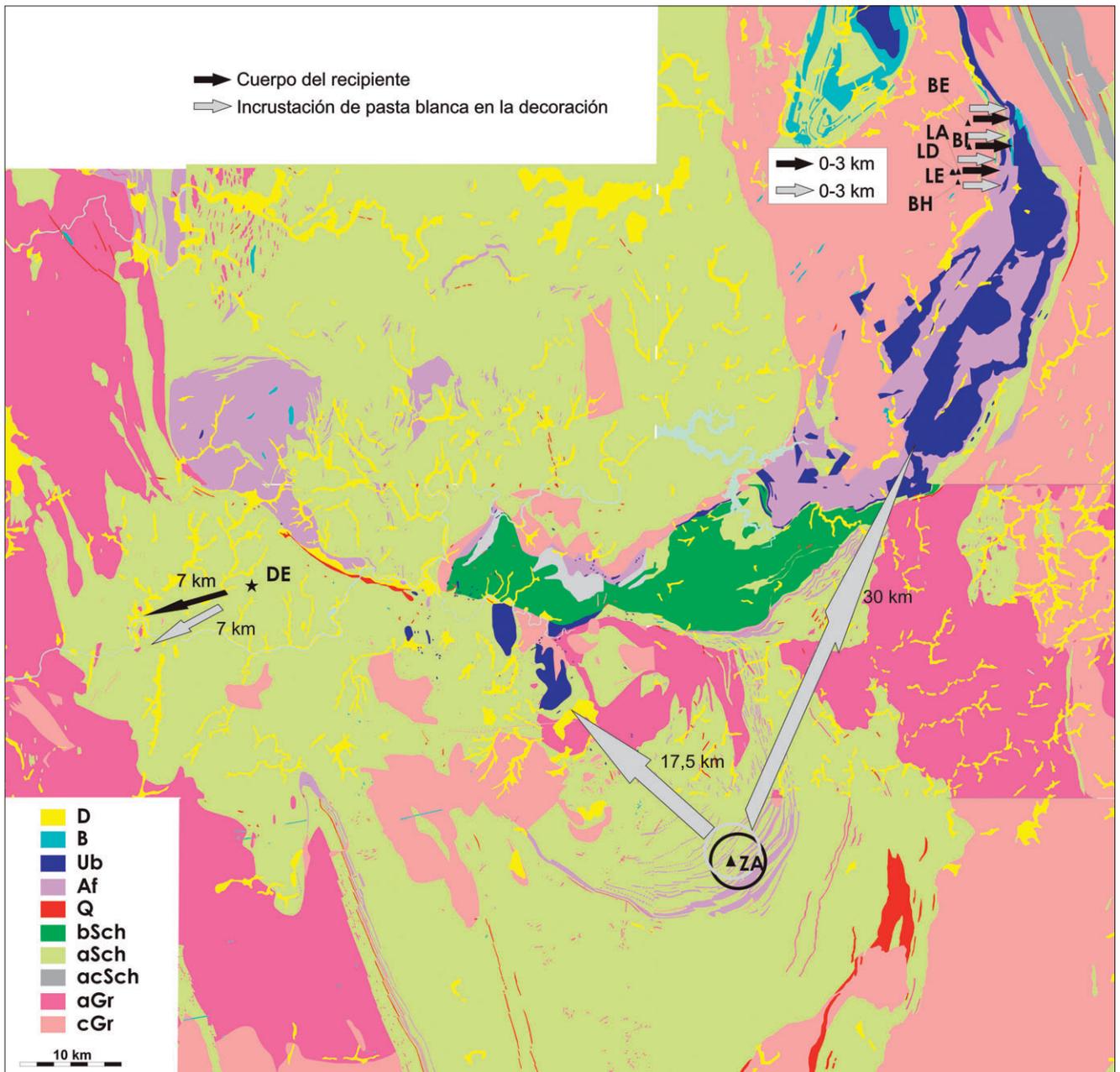


Fig. 4. Mapa geológico simplificado, en el que se indican las posibles distancias y procedencias de la materia prima en relación con los yacimientos en los que se ha analizado la cerámica (para los códigos de los materiales véase el texto).

VI. CONCLUSIONES

El análisis arqueométrico de las pastas blancas que rellenan motivos decorativos de cerámica campaniforme de Galicia, junto al de los cuerpos cerámicos, indica que poseen una composición específica e intencional bien diferenciada de la de los cuerpos. En la mayoría de los casos el mineral dominante en la pasta blanca es el talco, a veces con presencia de serpentina, plagioclasas o anfíboles.

En los únicos casos en los que esto no fue así, es la caolinita –en combinación con cuarzo– el mineral que aporta el color blanco a la pasta.

En lo que se refiere a la tecnología, la materia prima utilizada para la elaboración de los cuerpos cerámicos y las pastas blancas puede responder a una única fuente o a la mezcla de dos fuentes de materiales. En todas las pastas blancas hay una selección diferenciada de materias primas

en relación al cuerpo cerámico, bien por el uso de minerales de distinta fuente de materia prima, bien por la selección de materiales enriquecidos en minerales arcillosos –aunque no se puede descartar un enriquecimiento intencionado–. No se encontraron minerales indicadores de alta temperatura y la caolinita está ausente en el cuerpo cerámico de la mayoría de las piezas, por lo que la temperatura de cocción debió ser superior a los 550 °C. En al menos dos casos, la pasta blanca tuvo que ser añadida posteriormente a la primera cocción, realizándose una segunda cocción a temperaturas más bajas que 550 °C, pues contenía abundante caolinita. Esta podría ser la primera vez que se detecta una doble cocción en la cerámica prehistórica gallega.

En relación a la procedencia, todas las cerámicas podrían ser locales. Su composición mineralógica encaja con la oferta mineralógica de los materiales geológicos del entorno de los yacimientos. Es muy probable que la materia prima procediese de los materiales de alteración de las rocas y los horizontes C de los suelos. Descartamos el uso de desgrasantes de áreas aluviales y fluviales debido a la morfología angulosa del desgrasante.

Las distancias mínimas a las fuentes de materia prima para los cuerpos cerámicos y las pastas blancas oscilan entre *in situ* y 3 km, salvo para las piezas del yacimiento de Devesa do Rei que alcanzaría 7 km. Estas distancias, que apoyan lo ya analizado en la comarca del Deza-Ulla para un conjunto de 289 piezas prehistóricas (Prieto *et al.* 2009), se incluirían dentro del rango de 10 km que Convertini y Querré (1998) valoran como distancia local. Además de encontrar múltiples ejemplos antropológicos en los que la materia prima es aprovisionada en un entorno próximo, existen ejemplos de estudios arqueológicos en los que se confirma esta tendencia (Albero 2007: 83; Navarrete *et al.* 1991: 168). Sólo la pasta blanca de una de las piezas de Zarra de Xoacín (Za02) podría requerir distancias superiores, de 17,5 km o 30 km. En un estudio previo de este yacimiento, tan sólo para uno de los recipientes analizados (cuerpo cerámico) se propuso una distancia máxima de 14 km (Prieto *et al.* 2009). En la pieza Za02 también existe la posibilidad de un intercambio de materias primas (para la pasta blanca) o de la propia

pieza ya terminada, con los asentamientos de O Bocelo (incluyendo A Lagoa) situados a unos 30 km, dada la similitud mineralógica de las piezas, la decoración y la morfología (por su perfil carenado y borde esvasado, esta pieza encaja bien en los conjuntos campaniformes del Bocelo).

En relación con algunos aspectos del estilo, no se encuentra una relación bien definida entre el color de las piezas, la morfología y el tipo de decoración en función a los grupos mineralógicos obtenidos tanto para los cuerpos cerámicos como para la incrustación de pastas blancas.

Finalmente, cabe destacar algunos aspectos metodológicos de este trabajo. Los mapas de composición elemental (MEB-EDX) son una buena herramienta exploratoria para caracterizar diferencias entre la composición de las pastas blancas y la de los cuerpos cerámicos, pero puede ocultar diferencias mineralógicas. El análisis puntual con microsonda es más tosco en la evaluación de diferencias (no detectaron diferencias en el contenido de Mg para La047, Ld008, Le008 Y Za02). La combinación de todas las técnicas con la participación indispensable de la difracción de rayos X es vital para un estudio completo de caracterización y procedencia de las cerámicas con pasta blanca.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro el proyecto "Aplicación de técnicas arqueométricas ao estudo da cerámica antiga de Galicia (PGI-DIT07PXIB236075PR), financiado por la Dirección Xeral de I+D de la Xunta de Galicia desarrollado entre los años 2007 y 2009. Las fotografías, procesado de las muestras y analíticas se realizaron en la Unidad de Arqueometría (RIAIDT) de la Universidad de Santiago de Compostela.

Asimismo se incluye en el proyecto titulado 'Los estilos cerámicos en la prehistoria de Galicia: tecnología, materias primas y circulación'. Concedido por la Dirección General de Investigación y Gestión del Plan Nacional I+D+I. Ministerio de Ciencia e Innovación. Convocatoria de 2010 (Código: HAR2010-17637).

BIBLIOGRAFÍA

- ABOAL FERNÁNDEZ, R.; AYÁN VILA, X.M.; CRIADO BOADO, F.; PRIETO MARTÍNEZ, M.^ª P. y TABARÉS DOMÍNGUEZ, M. 2005: "Yacimientos sin estratigrafía: Devesa do Rei. ¿Un sitio cultural de la Prehistoria Reciente y la Protohistoria de Galicia?". *Trabajos de Prehistoria* 62 (2): 165-181.
- ABOAL FERNÁNDEZ, R.; BAQUEIRO VIDAL, S.; CASTRO HIERRO, V.; PRIETO MARTÍNEZ M.^ªP. y TABARÉS DOMÍNGUEZ, M. 2004-5: "El yacimiento del III milenio BC de Zarra de Xoacín (Lalín, Pontevedra)". *Lancia* 6: 37-58.
- ACEITUNO, F.J.; COLLADO, J.M.; DÍAZ-ANDREU, M. y GARCÍA SÁNCHEZ, E. 1998: "El calcolítico en la provincia de Cuenca: la colección arqueológica de don Vicente Martínez Millán (La Hinojosa, Cuenca)". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses* 19: 105-126.
- AGUILELLA I ARZÓ, G. 2002-2003: "Pastors prehistòrics a la Cova de Petrolí (Cabanes, Plana Alta, Castelló)". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses* 23: 107-132.
- ALBERO SANTACREU, D. 2007: "Primeras aproximaciones a la tecnología cerámica prehistórica en la Península de Calviá (Mallorca)". *@rqueología y Territorio* 4: 70-86.
- ALMAGRO BASCH, M. 1939: "La cerámica excisa de la Primera Edad del Hierro en la Península Ibérica". *Ampurias* 1: 137-157.
- ÁLVAREZ QUINTANA, J.J. 2004: "La cerámica neolítica de la Cueva de las Ventanas (Píñar, Granada)". *Arqueología y Territorio* 1: 15-36.
- BEVAN, A. 2007: *Stone vessels and values in the Bronze age Mediterranean*. Cambridge University Press. Cambridge.
- BLANCO GARCÍA, J.F. 2005: "Aproximación al poblamiento prehistórico en el noroeste de la Provincia de Segovia (Del Paleolítico al Bronce Medio)". *Oppidium* 1, pp. 7-58. Universidad SEK. Segovia.
- BLASCO, C. (ed.)1994: *El horizonte campaniforme de la región de Madrid en el centenario de Ciempozuelos*. Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- BLANCO, J.F.; BLASCO, C.; RODRIGUEZ, M.^ªJ. y CARRIÓN, E. 2005-2007: "Inventario General de los Fondos". En C. Blasco, J.F. Blanco, C. Liesau, E. Carrión, J. García, J. Baena, S. Quero y M.^ª J. Rodríguez de la Esperanza *et alii*: *Cogotas I, La Fábrica de Ladrillos, Getafe, Madrid*. *Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas* 14-15: 229-372.
- CONVERTINI, F., QUERRÉ, G., 1998: "Apports des études céramologiques en laboratoire à la connaissance du Campaniforme: résultats, bilan et perspectives". *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 95 (3): 333-341.
- DOMINGO SANZ, I.; ROLDÁN GARCÍA, C.; FERRERO CALA-
- BUIG, J. y GARCÍA BORJA, P. 2007: "Nuevas aportaciones sobre el fragmento cerámico con cérvidos incisos de la Cova de L'or (Beniarrés, Alacant)". *Trabajos de Prehistoria* 64 (2): 169-176.
- GARCÉS TARRAGONA, A. M. y GALÁN SAULNIER, C. 1991: "Los Dornajos: cerámicas y microespacio". *Espacio, Tiempo y Forma, Serie, I. Prehistoria y Arqueología* IV: 127-191.
- GHERDÁN, K.; BIRÓ, K.T.; SZAKMANY, G.Y.; TÓTH, M. y SÓLYMOS, K.G. 2003: "Analysis of incusted pottery from Vörs, southwest Hungary". En I.M. Prudêncio, M.I. Dias y J.C. Waerenborgh (eds.): *Understanding people through their pottery*. Trabalhos de Arqueologia 42. Lisboa: 103-108.
- GONZÁLEZ CORDERO, A. y BARROSO BERMEJO, R. 1996-2003: "El papel de las cazoletas y los cruciformes en la delimitación del espacio. Grabados y materiales del yacimiento de San Cristóbal (Valdemorales-Zarra de Montánchez, Cáceres)". *Norba. Revista de Historia* 16: 75-121.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1985: "Los nuevos asentamientos del final de la Edad del Bronce". En *Arqueología del País Valenciano: panorama y perspectivas*. Anejo de la Revista Lucetum, Universidad de Alicante. Alicante.
- HURTADO, V. 2004: "El Asentamiento fortificado de San Blas (Cheles, Badajoz). III Milenio AC". *Trabajos de Prehistoria* 61 (1): 141-155.
- JORNET, M. 1989: "Prehistoria de Bélgica". *Trabajos del Servicio de Investigación Prehistórica* 91-99. Diputación Provincial de Valencia. Valencia.
- LAZARICH, M. 1999: *El Campaniforme en Andalucía Occidental*. Tesis doctoral en microficha. Universidad de Cádiz. Cádiz.
- LÓPEZ JIMÉNEZ, O. y BENET, N. 2004: "Nuevos resultados en la investigación sobre 'La Plaza de Toros' del Cerro de San Pelayo (Martinamor, Salamanca): Un enterramiento tumular con inhumación en los inicios del primer milenio en el área occidental de la meseta norte". *Trabajos de Prehistoria* 61 (1): 157-173.
- LÓPEZ JIMÉNEZ, O. 2003: "Dataciones radiocarbónicas en la protohistoria del sudoeste de la meseta norte. Consideraciones para un trabajo por hacer". *Trabajos de Prehistoria* 60 (2): 131-142.
- MARTIN, R. y DELIBES, G. 1989: *La cultura del vaso campaniforme en las campiñas meridionales del Duero: el enterramiento de Fuente-Olmedo*. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; PRIETO LAMAS, B.; LANTES SUÁREZ, O. y PRIETO MARTÍNEZ, M.^ª P. 2008: "Análisis mineralógico, elemental y cromático de cerámica prehistórica del área Ulla-Deza (Noroeste de la Península Ibérica)". En S. Rovira Llorens, M. García Heras, M. Gener Moret y I. Montero Ruiz (eds.): *Actas del VII Con-*

- greso Ibérico de Arqueometría. Madrid: 250-264. (http://www.ih.csic.es/congreso_iberico/index.PDF).
- MÉNDEZ FERNÁNDEZ, F. 1991: "El campaniforme tardío: entre un pasado monumental y una cerámica conspiciua". En Criado Boado, F. (dir.): *Arqueología del Paisaje. El área del Bocelo-Furelos entre los tiempos paleolíticos y medievales. (Campañas de 1987, 1988 y 1989)*: 173-184. Arqueología/ Investigación 6. A Coruña.
- MÉNDEZ FERNÁNDEZ, F. 1994: "La domesticación del paisaje durante la Edad del Bronce gallego". *Trabajos de Prehistoria* 51 (1): 77-94.
- MÉNDEZ FERNÁNDEZ, F. 1998: "Definición y análisis de poblados de la Edad del Bronce en Galicia". En R. Fábregas (ed.): *A Idade do Bronce en Galicia: Novas perspectivas*. Cadernos do Seminario de Sargadelos 77. Sada: 153-89.
- NAVARRETE, M.^a S.; CAPEL, J.; LINARES, J.; HUERTAS, F. y REYES, E. 1991: *Cerámicas neolíticas de la provincia de Granada. Materias primas y técnicas de manufacturación*. Universidad de Granada. Granada.
- ODRIOZOLA, C.P. 2008: "Scientific analyses of the white inlaid material of the symbolic pottery from povoado dos Perdigoës". *Apontamentos de Arqueología e Património* 3: 41-44.
- ODRIOZOLA, C.P. y HURTADO, V. 2005: "Tecnología y producción de decoraciones cerámicas campaniformes con relleno de hueso en la cuenca media del Guadiana". En J. Molera, J. Farjas, P. Roura y T. Pradell (eds.): *Avances en Arqueometría, 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría*. Universitat de Girona: 71-79.
- PLAZAOLA ARTOLA, J. 1999: "El primer arte abstracto". *Revista Internacional de Estudios Vascos* 44 (2): 359-398.
- POTTS, T.; ROAF, M. y STEIN, D. (eds.) 2003: *Culture Through Objects: Ancient Near Eastern. Studies in Honour of P. RS. Moorey*. Griffith Institute. Oxford.
- PRIETO-MARTÍNEZ M.^a P. 1999a: *Forma, Estilo y Contexto en la Cultura Material de la Edad del Bronce Gallega: Cerámica Campaniforme y Cerámica No Decorada*. Tesis doctorales de 1998, Servicio de Publicaciones, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- PRIETO-MARTÍNEZ, M.^a P. 1999b: "Caracterización del estilo cerámico de la Edad del Bronce en Galicia: cerámica campaniforme y cerámica no decorada". *Complutum*, 10: 71-90.
- PRIETO-MARTÍNEZ, M.^a P.; MARTINEZ-CORTIZAS, A y LAN-TES-SUÁREZ, O. 2009 (en prensa): "Bell Beaker pottery from the Ulla Deza Country (NW Iberian Peninsula): Style, mineralogy and elemental composition". En L. Salanova, y G. Querré (eds.): *Mecanismos de circulation des vases campaniformes. Table ronde de Nanterre*. Travaux Historiques et Scientifiques. París.
- PUJANTE MARTINEZ, A. 2005: "El yacimiento prehistórico de los Molinos de Papel (Caravaca de la Cruz, Murcia). Intervención arqueológica vinculada a las obras de infraestructura del Plan Parcial SCR2, 1999-2000". *Memorias de Arqueología* 14: 133-172.
- ROBERTS, S.; SOFAER, J. y KISS, V. 2008: "Characterization and textural analysis of Middle Bronze Age Transdanubian inlaid wares of the Encrusted Pottery Culture, Hungary: a preliminary study". *Journal of Archaeological Science* 35: 322-330.
- RODANÉS VICENTE, J.M.^a y PICAZO MILLÁN, J.V. 1997: "Bronze Final y Primera Edad del Hierro en Aragón". *Revista Caesar Augusta* 72 (I): 155-215.
- RODRÍGUEZ CASAL, A.A. 1989: *La necrópolis megalítica de Parxubeira*. Monografías Urxentes do Museu, 4. A Coruña.
- SALANOVA, L. 2000: *La question du Campaniforme en France et dans les îles anglo-normandes. Productions, chronologie et rôles d'un standard céramique*. Travaux Historiques et Scientifique Société Préhistorique Française. París.
- SORIA COMBADIERA, L. y MATA PARREÑO, C. 2001-2002: "Cerámicas a mano con decoración incisa del Bronce Final / Hierro I al norte del Júcar (La Manchuela, Albacete)". *Anales de Prehistoria y Arqueología* 16-17: 95-108.
- SZIKI, G. A.; BIRÓ, K. T.; UZONYI, I.; DOBOS, E. y KISS, A. Z. 2003. "Investigation of incrustrated pottery found in the territory of Hungary by micro-PIXE method". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 210: 478-482.



SESIÓN ANÁLISIS DE MATERIALES

PIGMENTOS Y TÉCNICAS PICTÓRICAS



ANÁLISIS DE LA PINTURA MURAL DE UNA DOMUS EXCAVADA EN LA CIUDAD ROMANA DE LESERA (LA MOLETA DELS FRARES, FORCALL - CASTELLÓN)

ANALYSIS OF MURAL PAINTINGS FROM A ROMAN DOMUS OF LESERA (LA MOLETA DELS FRARES, FORCALL - CASTELLÓN)

Clodoaldo Roldán García(1) / Ferran Arasa Gil (2) / David Juanes (3)

(1) Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universidad de Valencia (ICMUV)

(2) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Valencia

(3) Instituto Valenciano de Conservación y Restauración (IVCR)

RESUMEN: En este trabajo se aborda la caracterización de los materiales empleados en pigmentos, preparaciones, morteros y molduras de la decoración mural de una domus excavada en la ciudad romana de Lesera (Forcall, Castellón). Los análisis elementales mediante EDXRF muestran la utilización de compuestos de hierro y compuestos de plomo en los pigmentos rojos; compuestos de hierro en los amarillos; negros de origen vegetal y blancos a base de compuestos de calcio. Los difractogramas XRD revelan el uso de calcita y cuarzo en las preparaciones del muro y de calcita en las molduras. Las estratigrafías de las muestras analizadas mediante SEM-EDS revelan una estructura de capas compuesta por un mortero basal, un mortero intermedio y un mortero fino que hace las veces de preparación y sobre el que se aplica la capa pictórica, la cual, a su vez, se estructura en capas de pigmentos superpuestas que nos indican el proceso de ejecución. Finalmente, los análisis petrográficos de los morteros de cal nos han aportado información sobre la composición de áridos y ligantes

SUMMARY: Wall paintings, mortars and mouldings from a Roman domus of Lesera (Forcall, Castellón) were analyzed by EDXRF, XRD and SEM-EDS. The analyses shown the use of iron oxides and lead compounds for the red pigments, iron oxides for the yellow, charcoal for the black and calcium based white pigments. Quartz and calcite were the crystalline phases found in mortars and calcite was identified in mouldings. Stratigraphic samples of the mural paintings, analyzed by optical microscopy and SEM-EDS, shown a superposition of three layers of mortars, with decreasing grain sizes, under several pigment layers. Information about the binder/aggregate ratios in mortars was obtained by means of petrographic analyses.

PALABRAS CLAVE: Pintura mural romana, Análisis físico-químicos, EDXRF, SEM-EDS, XRD.

KEY WORDS: Roman wall painting, Physicochemical analysis, EDXRF, SEM-EDS, XRD.

I. INTRODUCCIÓN

Lesera es una ciudad romana situada a 2 km de la población de Forcall en la comarca de “Els Ports” (Castellón), zona de relleno abrupto orientada hidrográficamente hacia el valle del río Ebro. Su localización sobre la “Moleta dels Frares” y en la confluencia de tres ríos le confieren facilidades defensivas y de control visual y un carácter de nudo en las comunicaciones entre la costa y las tierras de Aragón. Estaba comunicada con la vía Augusta por un camino que sigue el trazado de la carretera actual N-232. Lesera es la única ciudad romana conocida en tierras de Castellón y, por tanto, un yacimiento arqueológico de gran importancia por su superficie y porque fue una aglomeración urbana

agrupada como un municipio. Se trata de una ciudad modesta, tanto por su monumentalidad como por sus edificios, si la comparamos con otros núcleos urbanos como *Saguntum*. El lugar está habitado desde la edad del Bronce y sus habitantes eran descendientes de los íberos que ocupaban este antiguo *oppidum* que manifiesta su origen prerromano en su topónimo.

Las excavaciones realizadas en la zona septentrional de la Moleta son representativas del estado de conservación de los niveles arqueológicos y de los periodos de ocupación, a la vez que revelan pruebas de una intensa ocupación. En las campañas de excavación de 2001 y 2004 (Arasa 2009) salieron a la luz restos de una casa romana del alto

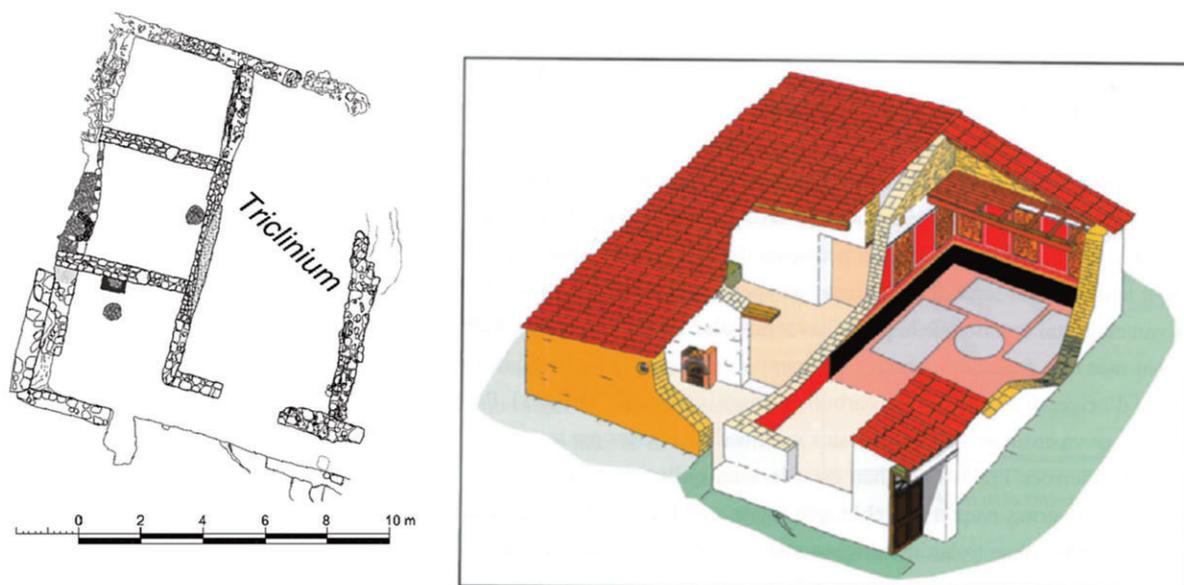


Fig. 1. Planta de la tercera fase de ejecución y recreación de la domus.

Imperio de planta rectangular y unos 120 m² de superficie (Figura 1). La elección de esta domus que, según los indicios arqueológicos ha resultado ser una modesta residencia, obedece a la voluntad de obtener información sobre la población y el espacio doméstico. Los resultados de las excavaciones han mostrado una secuencia de tres fases constructivas que pueden datarse a lo largo de 150 años. Durante la tercera y última fase, fechada entre finales del siglo I y principios del II d. C. se modifica la distribución de la vivienda dotándola de un amplio *triclinium* que se decora con pintura mural y molduras coloreadas. Esta fase es la mejor conservada y la que ha proporcionado mayor información; en ella pueden distinguirse elementos característicos de la arquitectura romana que permiten asimilarla a una domus.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

El elemento más destacado de la domus es, sin duda, el *triclinium*, que hacía de comedor y sala de recepción y cuyas dimensiones destacan sobre las otras partes de la casa. El *triclinium* era la única que estaba decorada con pintura mural y molduras. La decoración pintada utiliza los colores rojo, negro, ocre, rosa, verde y blanco y está organizada en grandes paneles delimitados por bandas y filetes que se alzan sobre un zócalo. El motivo representado es una imitación de mármol (*crustae*). Las

molduras, situadas en el ángulo formado por las paredes y el techo, estaban decoradas con diferentes colores.

Los materiales analizados corresponden a la pintura mural de las paredes (incluyendo los morteros) y molduras (Figura 2) que fueron halladas como fragmentos recubiertos de polvo y escombros. Entre los fragmentos recuperados, los más completos presentan un fondo ocre con óvalos rojos ribeteados de negro y trazos negros que unen algunos óvalos, otros fragmentos presentan tintas planas de negro, rojo y ocre, mientras que fragmentos de molduras presentan rojos, verdes y bandas rosas y negras. En uno de los fragmentos de mayores dimensiones (Figura 2, F09), el panel está rodeado por una franja negra seguida de un filete blanco, una franja ocre, otro filete blanco y una zona de color rojo y extensión indeterminada; un estrecho filete rosa, situado a poca distancia de la franja negra atraviesa los trazos del *brocatel*.

El estudio analítico de los fragmentos de la pintura mural de la domus de Lesera comprende la caracterización de la capa pictórica integrada por el pigmento y el mortero sobre el que se aplica y que recubría el muro propiamente dicho. La estructura y composición de los morteros y capas pictóricas nos ofrecen información sobre los materiales y técnicas utilizados durante su realiza-

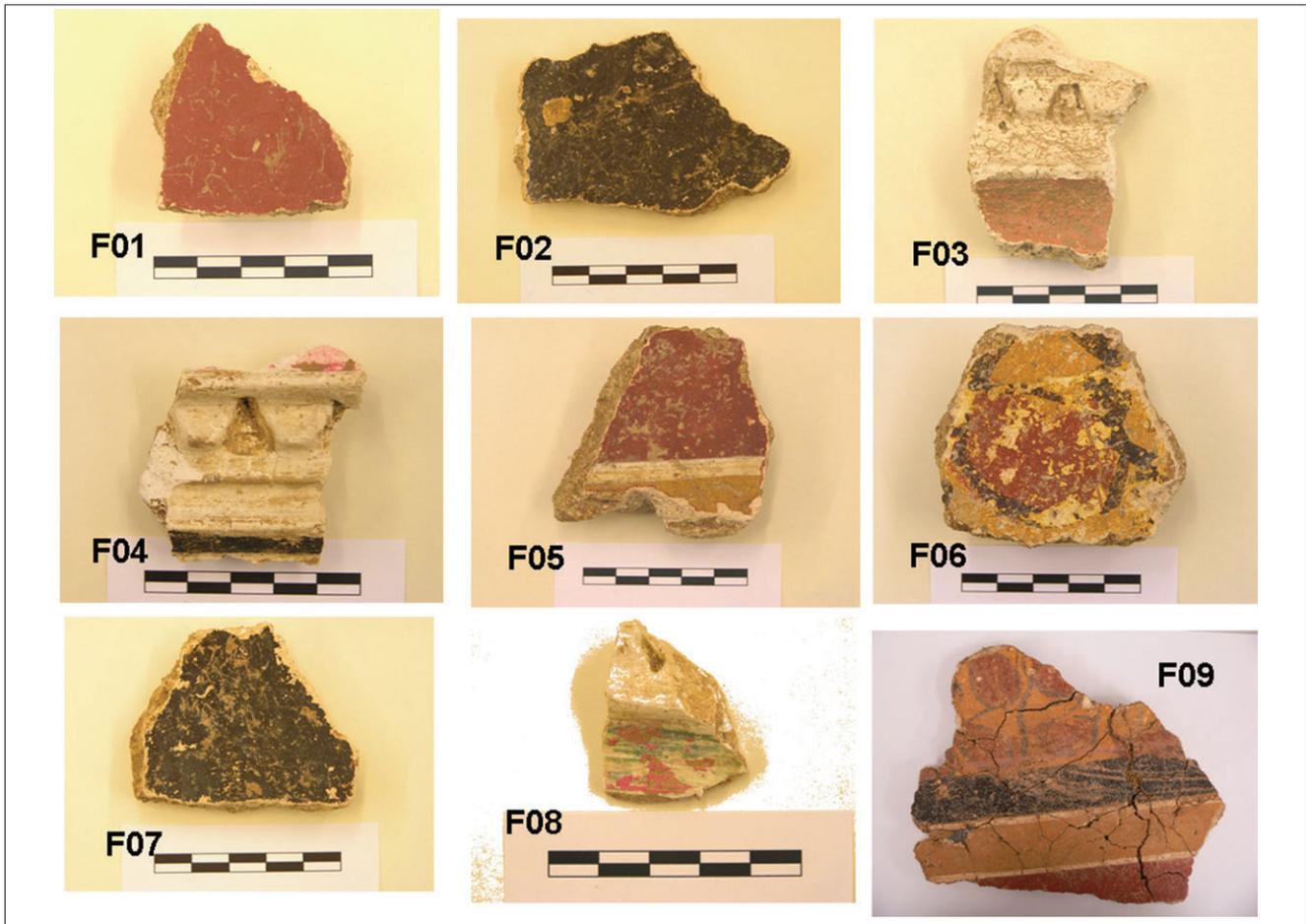


Fig. 2. Fragmentos de pintura mural analizados.

ción. Con este objetivo presentamos el estudio de varios fragmentos de pintura mural realizado mediante microscopía óptica (OM), microscopía electrónica de barrido con microanálisis (SEM-EDS) y difracción de rayos-X (XRD). También se han realizado análisis no destructivos mediante fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (EDXRF) con un espectrómetro portátil. Los resultados obtenidos con las técnicas descritas se complementan entre sí y permiten la identificación de la estructura, fases cristalinas y composición elemental de los pigmentos y materiales empleados.

Las técnicas que no requieren toma de muestra como la OM o la EDXRF se han aplicado directamente sobre el fragmento sin realizar ninguna agresión física al mismo. Las muestras necesarias para las otras técnicas (SEM, XRD) han sido tomadas de los fragmentos de pintura mural mediante bisturís estériles y han sido representativas de la variedad de colores y materiales utilizados.

Microscopía Óptica (OM)

Para la caracterización óptica de la superficie pictórica y de la composición estructural de los morteros, los fragmentos fueron observados con una lupa Nikon SMZ-1000 y un microscopio Olympus BH-2.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS)

Las imágenes y microanálisis realizados sobre cortes estratigráficos fueron obtenidos mediante un microscopio electrónico de barrido ambiental PHILIPS XL 30 ESEM con microanálisis. Las imágenes fueron tomadas en condiciones de bajo vacío evitando, así, el recubrimiento de las mismas con un material de alta conductividad. El microanálisis EDS aporta información sobre la composición elemental de la muestra.

Difracción de rayos-X (XRD)

La XRD de muestras de polvo se ha usado para identificar las fases cristalinas presentes en pigmentos y morteros. Los análisis XRD se han realizado mediante un difractómetro Seifert XRD 3003 TT, siendo las condiciones de operación: $I = 40$ mA, $V = 40$ kV, $2\theta = 5-75^\circ$, $\Delta\theta = 0.08^\circ$. El haz primario de rayos-X atraviesa un monocromador y tras la difracción es detectado por un detector posicional MBraun PSD-500. La identificación de las fases cristalinas se llevó a cabo por comparación entre el espectro experimental y los espectros patrón de la base de datos JCPDS (www.icdd.com).

Fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (EDXRF)

La composición elemental de pigmentos, soportes y molduras se determinó directamente sobre los fragmentos mediante un espectrómetro portátil EDXRF desarrollado en el Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universidad de Valencia -ICMUV (Roldán *et al.* 2005), integrado por: a) un tubo de rayos-X de reducidas dimensiones con ánodo de paladio operando a un potencial de 35 kV y a una intensidad de 0.3 mA; b) un detector SDD, refrigerado termoeléctricamente con una resolución de 160 eV (FWHM a 5.9 keV) y ventana de berilio de 8 μm ; c) un analizador multicanal. Se fijó un tiempo de adquisición de 200 s, suficientes para obtener una buena estadística en los espec-

tros. El análisis EDXRF de una zona con pigmento incluye, simultáneamente, información sobre la composición elemental de las capas de pigmento y de las capas del mortero. La identificación y discriminación de elementos de la capa pictórica y elementos de la preparación se realiza comparando espectros EDXRF de un área con pigmento sobre mortero y otro de un área de mortero sin la capa pictórica.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Análisis de morteros

Se han analizado los morteros de tres fragmentos que tienen diferentes policromías en su superficie y que corresponden a las muestras F05, F06 y F07 indicadas en la Figura 2. Los morteros presentan características similares cuya descripción macroscópica revela un revestimiento pictórico superficial bajo el que se aprecian tres capas (Figura 3):

1. Mortero basal de cal, con un espesor superior a 2 cm, color beige y relativamente disgregable al tacto. El árido es esencialmente carbonatado, pudiendo distinguirse fragmentos de roca y restos fósiles. También es destacable la existencia de fragmentos de cal no homogeneizados con el resto del ligante (caliches), de color blanquecino y cuyo tamaño incluso puede alcanzar el centímetro.



Fig. 3. Sección transversal del mortero donde se aprecia la superposición de tres capas.

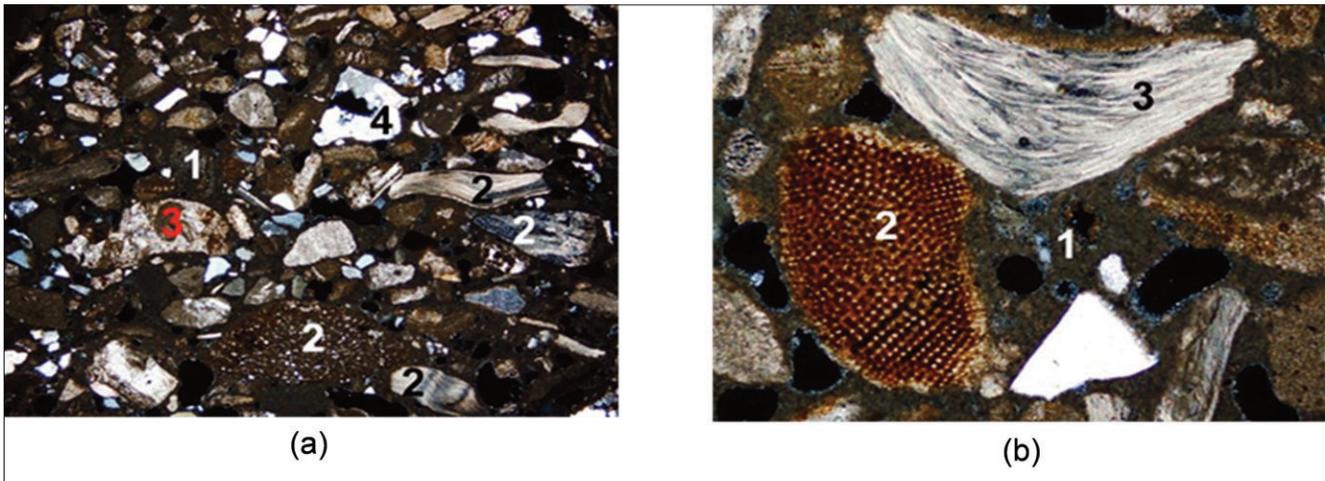


Fig. 4. (a) Mortero inferior con ligante calcáreo (1) que traba granos de distinta naturaleza: fragmentos de bioclastos (2), fragmentos de roca (3) y granos de cuarzo (4). (b) Detalle de la fotografía anterior donde destaca la presencia de un fragmento de foraminífero (1) y otro de braquiópodo (2).

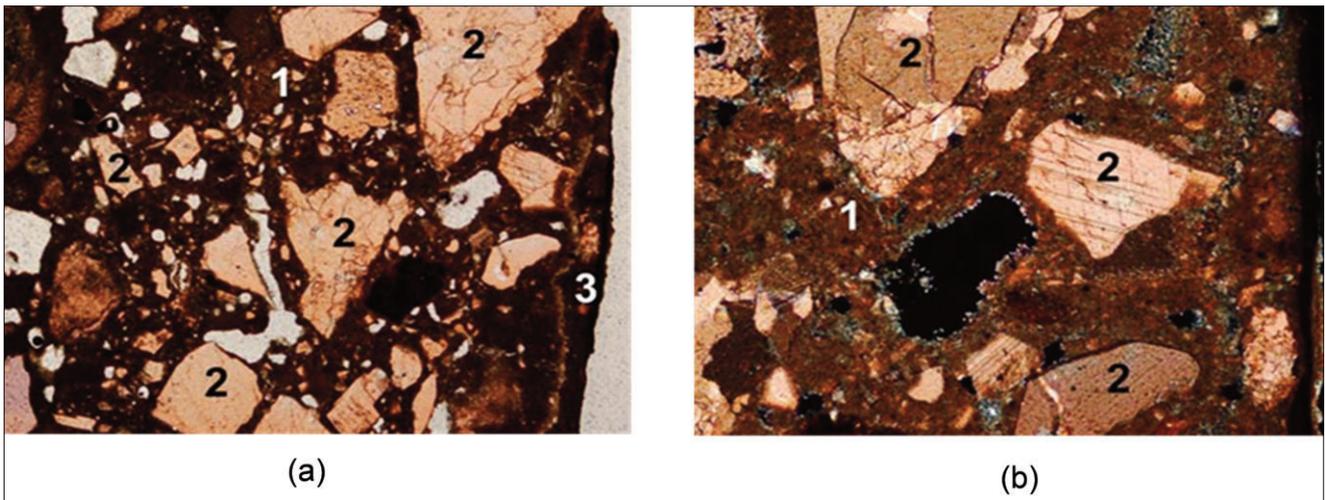


Fig. 5. (a) Lámina delgada. Mortero intermedio (1) con carga de calizas cristalinas angulosas (2), al que se superpone el mortero de acabado (3). (b) Detalle del mortero intermedio compuesto por ligante carbonatado (1) y granos angulosos de caliza cristalina (2).

2. Mortero intermedio de cal con una mayor cohesión que el anterior y con un árido texturalmente más homogéneo y de aspecto cristalino. El espesor de este mortero varía entre 2 y 3 mm.

3. Mortero de acabado fino, de escaso espesor (inferior a 1 mm), muy compacto y en muy buen estado de conservación.

El **mortero inferior**, de textura más grosera que el resto, es un mortero de cal donde el ligante, que representa el 30-40% del total de la muestra, está formado por partículas carbonatadas de tamaño micrítico (menor de 4 μm); este material

inter-esquelético es bastante homogéneo texturalmente, siendo las únicas heterogeneidades detectadas la presencia de caliches carbonatados y la existencia de poros de morfología más o menos redondeada (Figura 4). El árido es de naturaleza mixta silíceo-carbonatada, predominando la carga carbonatada en una proporción de 9 a 1. Los granos silíceos, de tamaño predominante arena media, corresponden a cuarzo monocristalino y en menor medida policristalino que en algún caso incluyen partículas micáceas; de manera accesoria se localizan granos de feldespato potásico. El árido carbonatado tiene una gran variabilidad, predominando los fragmentos de bioclastos de distinta

naturaleza: conchas de bivalvos con textura prismática o totalmente recristalizados, conchas de braquiópodos con textura lamelar cruzada, foraminíferos y equinodermos (Figura 4). También se identifican fragmentos de roca, en general de mayor tamaño que los bioclastos, que pueden ser de diversos tipos: fragmentos de esparita policristalina, monocristales de esparita, micritas, biomicritas, esparitas con abundantes granos de cuarzo y bioesparitas arenosas. El tamaño dominante de los bioclastos es arena media (250-500 μm), mientras que el de los fragmentos de roca es arena gruesa (500 μm a 1 mm) o superior.

El ligante del mortero intermedio es carbonato cálcico de grano muy fino, con una gran homogeneidad textural y representa en torno al 50% de la superficie estudiada. El árido consiste en granos de caliza cristalina muy angulosos y con tamaños muy variados (desde 100 a 1500 μm), lo cual confiere al mortero un elevado grado de empaquetamiento (Figura 5).

Por último, entre el mortero anterior y la capa pictórica, se sitúa un mortero de acabado con un espesor entre 100 y 150 μm . Está constituido por carbonato de grano muy fino, en torno a 1-2 μm , que engloba escasos granos angulosos de calcita esparítica.

Adicionalmente, se ha analizado mediante XRD el material de la moldura (Figura 2, fragmento F08) que hace de base a la decoración pictórica de las mismas. La identificación del patrón de difracción de la calcita revela la utilización de carbonato cálcico.

Análisis de pigmentos mediante EDXRF

Se han analizado zonas de pigmento rojo, negro, ocre, rosado y blanco que decoran el muro (Figura 2, fragmentos F01, F02 y F09) y las molduras (Figura 2, fragmentos F03 y F04). Siguiendo la metodología propuesta en el apartado anterior se han comparado espectros EDXRF de zonas de pigmento con zonas libres de pigmento con objeto de identificar los elementos característicos del pigmento y de las preparaciones. Algunas consideraciones sobre los pigmentos detectados son:

-El calcio está presente en todos los espectros, siendo el elemento dominante en los blancos.

-El estroncio es detectado en todos los colores, con diferentes intensidades de la línea de fluorescencia $\text{K}\alpha$.

-El hierro se detecta en todos los puntos de medida siendo el elemento característico de los óxidos rojos y amarillos.

-El arsénico está presente como elemento minoritario o traza en varios pigmentos rojos analizados (Seccaroni y Moiola 2002).

-El plomo es particularmente evidente en varios pigmentos rojos (asociado a la utilización de minio) y rosados (mezcla de blancos de plomo con óxidos de hierro, y/o mezcla de minio, óxido de hierro y blanco de calcio).

Ocres y Rojos

Todos los ocres analizados presentan espectros de fluorescencia compatibles con el uso de óxidos de hierro, mientras que entre los rojos se detectan óxidos de hierro y minio.

Los espectros EDXRF del pigmento rojo del fragmento F01 corresponden a un óxido de hierro con impurezas de arsénico (Figura 6). La presencia de As como elemento traza en el rojo puede estar asociada a la génesis del mineral de hierro utilizado en el pigmento. En el sustrato se mezclan óxidos de hierro y compuestos de calcio. La intensidad de los picos de fluorescencia del hierro es mayor en el pigmento que en la preparación, lo cual implica que el color rojo está formando una capa superpuesta a la preparación. La igualdad de intensidad en los picos de calcio del pigmento y soporte puede ser un indicativo de la existencia de cargas de compuestos de calcio en el pigmento. La presencia de estroncio está asociada a los compuestos de calcio. Análisis complementarios mediante XRD revelan la presencia de cuarzo, calcita y hematita en el pigmento rojo de este fragmento.

La coloración roja del fragmento F03 presenta tonos anaranjados y los espectros EDXRF muestran intensidades de los picos de fluorescencia

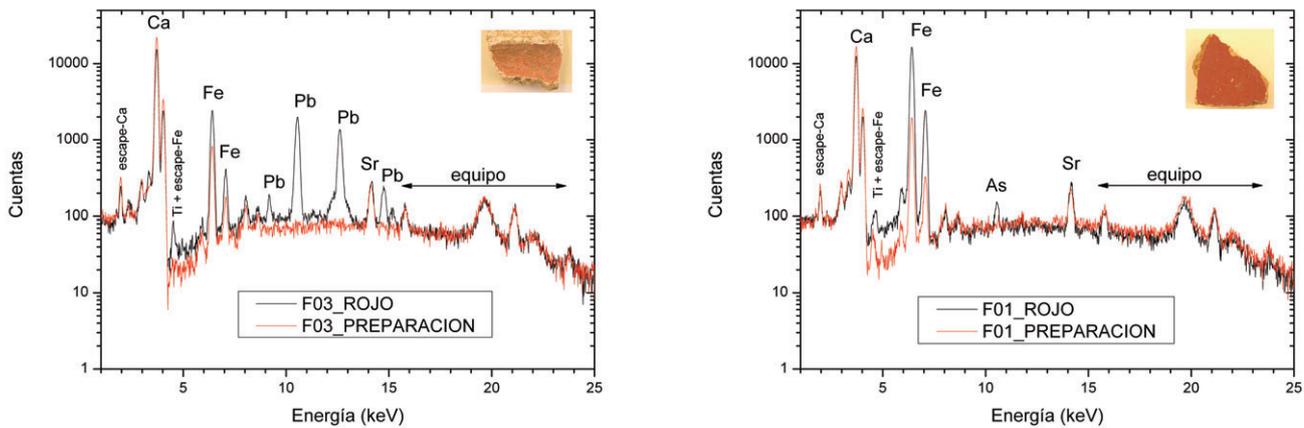


Fig. 6. Espectros XRF asociados a pigmentos rojos de óxidos de hierro con impurezas de arsénico (izquierda), y pigmento rojo con importantes señales de plomo que podrían estar relacionadas con el uso de minio (derecha).

cia de Fe y Pb mayores en el pigmento, lo cual induce a considerar un rojo obtenido por mezcla de óxido de hierro y un compuesto de plomo que probablemente sea minio (Figura 6).

Además se han analizado dos zonas rojas del fragmento F09, una banda ancha y el pigmento rojo que decora el interior de los óvalos. Los espectros EDXRF de estas dos zonas presentan características similares que inducen a considerar la utilización de óxidos de hierro y compuestos de calcio como cargas. Al igual que en el rojo del fragmento F01, en los rojos del fragmento F09 se detectan trazas de arsénico. Impurezas de arsénico en pigmentos rojos basados en óxidos de hierro han sido encontrados en pinturas murales de Villa Arianna en Castellammare de Stabia (Seccaroni y Moiola 2002) y en muestras de Verona (Agnoli *et al.* 2007).

Rosados

Se ha analizado la composición elemental de los pigmentos de los fragmentos F04 (moldura) y las líneas rosadas del fragmento F09. En el espectro EDXRF del pigmento rosa de la moldura (Figura 7) se diferencian claramente las líneas de fluorescencia de plomo (que no se observan en la capa de preparación) y del hierro, que presenta una señal mucho más intensa en el pigmento que en el soporte. La difracción de este pigmento no nos ha aportado información sobre estructuras

cristalinas, lo que nos induce a pensar en la utilización de una laca a la que se le han añadido óxidos de hierro y plomo sin que podamos precisar su naturaleza.

La línea rosa del fragmento F09, que aparece superpuesta a la superficie pictórica, presenta un intensidad de las líneas de fluorescencia del hierro y plomo (Figura 7) que es compatible con una mezcla de óxidos de hierro y un blanco basado en compuestos de plomo (carbonato básico de plomo, o carbonato de plomo), o de un rojo de minio y de óxidos de hierro mezclado con blancos de compuestos de calcio. En ambos casos el color resultante adquiere un tono rosáceo. Claramente, el plomo es un elemento ligado a la capa pictórica que no se detecta en las zonas carentes de pigmento. La presencia de plomo es raramente detectada en pintura mural antigua (Gettens y Scout 1966) debido a la incompatibilidad que presenta con el agua. No obstante, la banda rosa donde se detecta Pb está superpuesta sobre otras capas pictóricas por lo que no ha sido aplicada al fresco y cabe la posibilidad de haber utilizado otra técnica pictórica compatible con el uso de estos compuestos de plomo. Casos similares de presencia de blancos de plomo (cerusita o blanco de plomo) han sido referidos en bandas y líneas blancas y rosadas pintadas sobre fondos monocromáticos de pintura mural procedentes de Vincenza (Mazzocchin 2003).

En el caso de la banda rosada de la moldura,

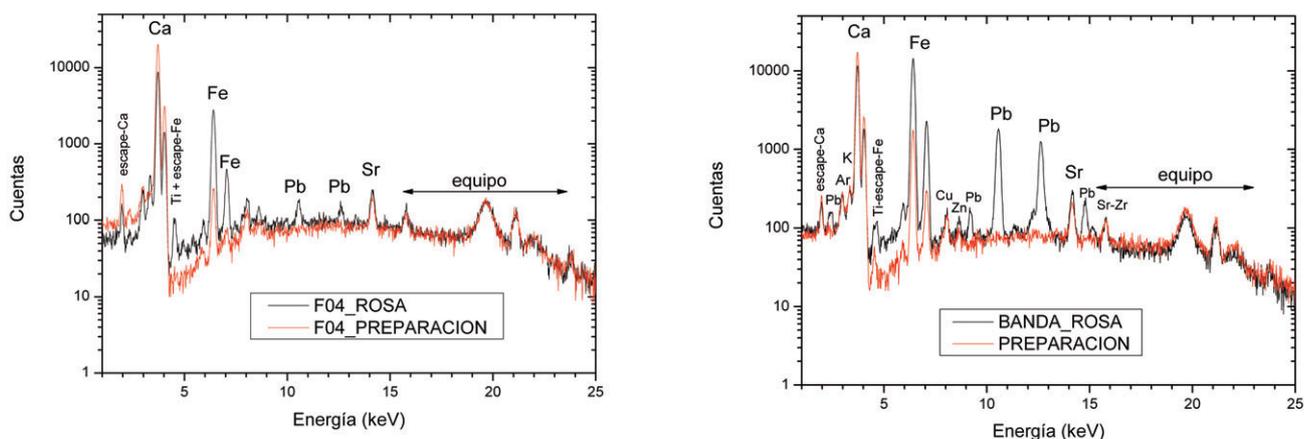


Fig. 7. Izquierda: espectro XRF de una banda rosa del fragmento F09. Derecha: espectro XRF de la banda rosa que decora el fragmento de moldura F04. En ambos espectros se observan líneas de fluorescencia de plomo.

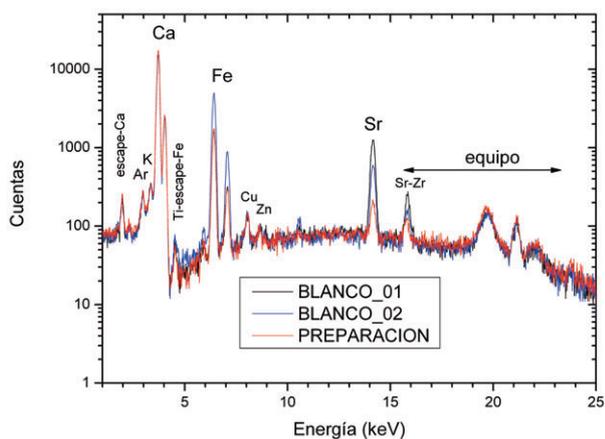


Fig. 8. Espectro XRF de líneas blancas del fragmento F09 que se asocian a un pigmento a base de calcio con impurezas de estroncio.

fragmento F08, no existen diferencias entre los espectros de fluorescencia de la preparación y del pigmento rosa, por lo que este último puede ser atribuido al uso de una laca.

Blancos

Los blancos analizados en el fragmento F09 revelan la utilización de compuestos de calcio con impurezas de estroncio. La detección de estroncio queda relegada a la capa de preparación y a la capa pictórica, por lo que procede de compuestos asociados a la materia prima utilizada (Paternóster *et al.* 2005). El estroncio, por sí, no caracteriza nin-

gún pigmento antiguo y, generalmente, está asociado a los compuestos de calcio, que en nuestro caso se pueden asociar a carbonatos de calcio ya que no se detecta la presencia de azufre (Figura 8).

Negro

Todos los negros analizados, ya sea en tintas planas como en decoraciones superpuestas, muestran espectros de fluorescencia compatibles con el uso de negro vegetal.

Análisis estratigráficos

Se han preparado secciones estratigráficas a partir de muestras de los fragmentos F02, F05, F06 y F08 que se han incluido en resina para estudiar la estructura y composición de la capa pictórica. La observación de los fragmentos mediante microscopía óptica ha permitido constatar un mal estado de conservación de la policromía. Existen sales de eflorescencia sobre la capa pictórica, que han llegado incluso a causar pérdidas de policromía por efecto de levantamiento de la capa. Por lo que respecta a las estratigrafías, se observa que existe una superposición de capas pictóricas en las que tintas planas se han aplicado directamente sobre el mortero fino, apreciándose una difusión de la cal en la capa pictórica, en lo que podría ser una aplicación al fresco. Sobre las tintas planas se aplican otras capas de pigmento que configuran la decoración de bandas y filetes (Figura 9).

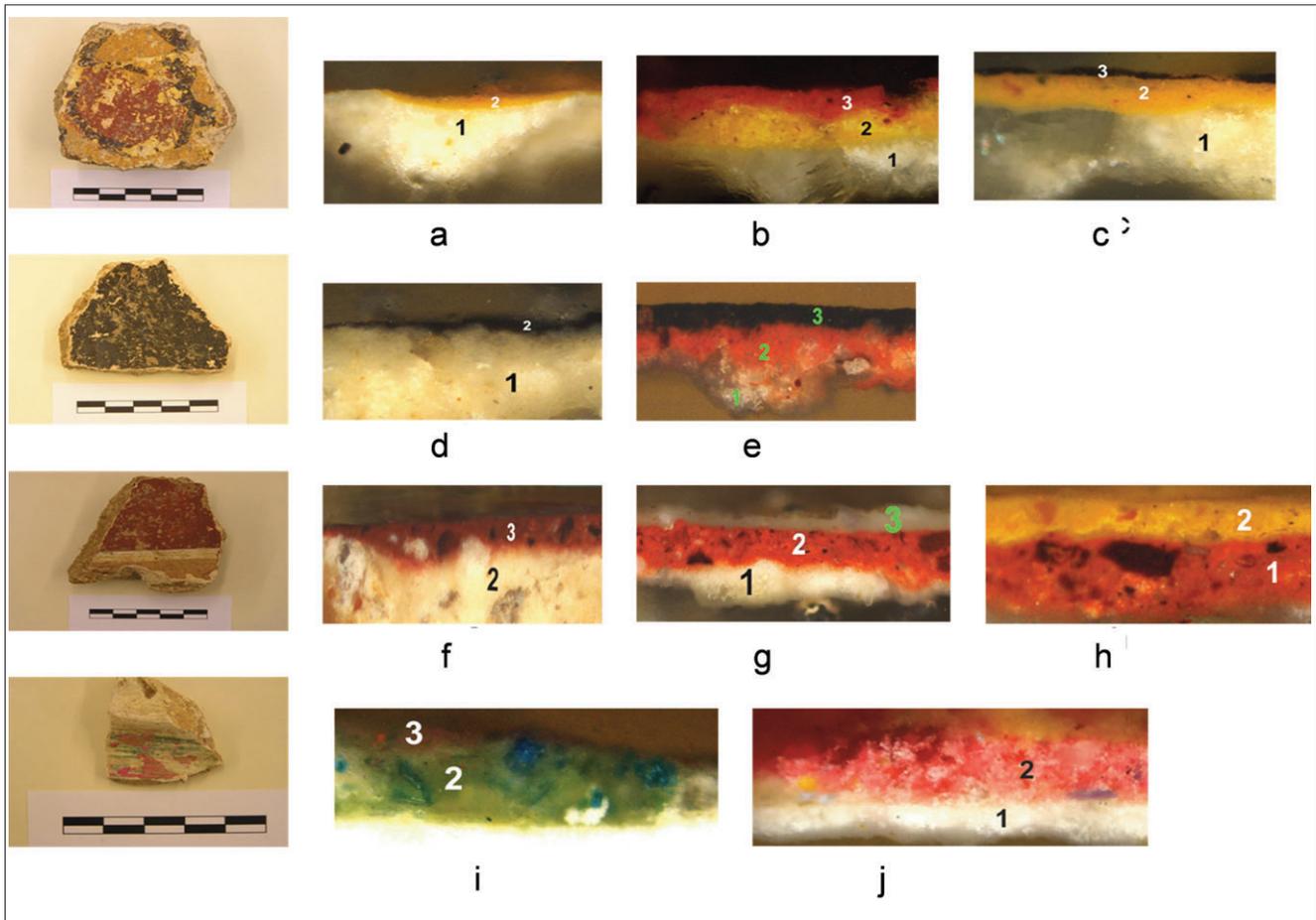


Fig. 9. Fragmentos analizados mediante SEM-EDS y disposición estratigráfica de las capas pictóricas.

En las capas rojas y ocre se aprecian pequeñas partículas negras de negro vegetal y, en esta últimas, también se observan partículas rojas de pigmentos tierra. En ambos casos, la finalidad de estas pequeñas partículas es modificar la tonalidad de la capa pictórica.

Los rojos y ocre analizados mediante SEM-EDS revelan una composición elemental a base de óxidos de hierro, carbonato de calcio y aluminosilicatos. Para los negros se ha utilizado materia prima procedente de carbón vegetal. En los blancos se detecta calcita. En ninguno de los fragmentos analizados mediante SEM-EDS (mostrados en la Figura 9) se han detectado compuestos de plomo asociados a pigmentos blancos o rojos.

La decoración de la moldura del fragmento F08 esta constituida por capas de un pigmento verde con partículas azules y, sobre éste, un pigmento rosa. En la capa verde se observa una ma-

triz ocre con partículas azules, el análisis mediante microsonda nos indica un ocre basado en óxidos de hierro, mientras que las partículas azules tienen la composición elemental característica del azul egipcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), siendo la tonalidad verde el resultado de una mezcla de ocre y azul. La capa roja superpuesta al verde muestra una fluorescencia rosada en la imagen ultravioleta, hecho que, junto a la alta presencia de aluminio en su composición, sugiere que se trata de una laca roja.

IV. CONCLUSIONES

Se han caracterizado los materiales empleados en pigmentos, preparaciones, morteros y molduras de la decoración mural de una *domus* romana de finales del s. I/principios del II (d. C.) excavada en el municipio de *Lesera* (Forcall, Castellón).

El mortero que recubre el muro es un mortero de cal que tiene tres capas: mortero basal (con árido

silíceo carbonatado), mortero intermedio (con árido de caliza cristalina) y un mortero fino de acabado (sin apenas árido) que recibe la capa pictórica.

Los análisis XRF de los fragmentos revelan la utilización de pigmentos rojos y ocre de óxidos de hierro, rojos que viran al naranja con compuestos de plomo que podrían asociarse a la utilización de minio, negros de carbón vegetal, blancos de calcita, y pigmentos rosados en las decoraciones superpuestas que podrían ser mezcla de óxidos de hierro y compuestos de plomo. Se ha detectado Sr en todos los análisis XRF y significativas señales de As en varios de los rojos analizados, estos elementos podrían estar relacionados con la procedencia de la materia prima utilizada.

Las estratigrafías y análisis mediante SEM-EDS nos indican blancos de calcita, negros de carbón vegetal y pigmentos rojos y ocre de óxidos de hierro. Todas las capas pictóricas se detectan aluminosilicatos y carbonato cálcico. En algunos rojos

y ocre se observan partículas de negro vegetal y en ciertos ocre, partículas rojas de óxidos de hierro, cuyo objeto es modificar la tonalidad. El pigmento verde de la moldura incorpora el azul egipcio como material de refracción (ocre + azul egipcio), mientras que el rosado de la moldura se asocia a la utilización de una laca rosa.

La técnica decorativa es depurada y los motivos decorativos de óvalos rojos ribeteados de negro se aplican sobre fondos de pigmentos rojos y ocre (óxidos de hierro) que cubren la última capa del mortero. El uso de pigmentos (*colores austeri*) no catalogados como “onerosos” coincide con la apreciación arqueológica de que se trata de una residencia modesta. Las tintas planas que constituyen los fondos se han aplicado mediante la técnica pictórica al fresco. La decoración de bandas y filetes consiste en la superposición de pigmentos de diferente color sobre los fondos. No se ha podido determinar la técnica utilizada en esta decoración que ha debido de utilizar algún agente ligante.

BIBLIOGRAFÍA

- AGNOLI, F.; CALLIARI, I. y MAZZOCCHIN, G. 2007: “Use of different spectroscopic techniques in the analysis of roman age wall paintings”. *Annali di Chimica* 97: 1-7.
- ARASA, F. 2009: *La ciutat romana de Lesera*. Ajuntament de Forcall. ISBN: 9788496331594. Vinaròs.
- GETTENS, R. y STOUT, G. 1996: *Painting materials: a short encyclopaedia*. Dover Publications Inc., New York.
- ICDD. International Centre for Diffraction Data. www.icdd.com.
- MAZZOCCHIN, G. 2003: “Analysis of pigments from Roman wall paintings found in Vicenza”. *Talanta* 61: 565-572.
- PATERNÓSTER, G. *et al.* 2005: “Study on the technique of the Roman age mural paintings by micro-XRF with Polycapillary Conic Collimator and micro-Raman analyses”. *Journal of Cultural Heritage* 6: 21-28.
- SECCARONI, C. y MOIOLI, P. 2002: *Fluorescenza X—Prontuario per l'analisi XRF applicata a superfici policrome*. NARDINI Editore, Firenze.
- ROLDÁN, C.; FERRERO, J.L.; PRIMO, V.; MATA, C. y BURRIEL, J. 2005: “Analysis of Iberian wall paintings from “Tos Pelat” (4th century B.C.). ART’05. *Proceedings 8th International Conference on “Non destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage*: 216. ISBN 88-89758-00-7.

PINTURA EM CARTÃO NO INÍCIO DO SÉC. XX EM PORTUGAL: AURÉLIA DE SOUSA, UMA ARTISTA ESQUECIDA NUM TEMPO DE MUDANÇAS TÉCNICAS

PAINTING ON CARDBOARD IN THE BEGINNING OF THE XX CENTURY, IN PORTUGAL: AURÉLIA DE SOUSA, A FORGOTTEN ARTIST ON A TIME OF TECHNICAL CHANGES

Maria Cunha Matos Lopes Pinto Leão Aguiar (1, 2) / António João Cruz (2, 3) / Ana Maria Calvo Manuel (1, 2) / Jorgelina Carballo Martinez (1, 2)

(1) *Escola das Artes, Universidade Católica Portuguesa*

(2) *Centro de Investigação em Ciências e Tecnologias das Artes (CITAR), Universidade Católica Portuguesa*

(3) *Departamento de Arte, Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar*

RESUMO: *Aurélia de Sousa foi uma pintora portuguesa (1866-1922) que viveu num período de grandes mudanças artísticas, nomeadamente a respeito dos materiais. A caracterização da sua obra é iniciada aqui com o estudo de cinco pinturas sobre cartão.*

SUMMARY: *Aurélia de Sousa was a Portuguese painter (1866-1922) that lived on period of great artistic changes, namely about materials. The characterization of her work is initiated with the study of five paintings on cardboard.*

PALAVRAS-CHAVE: *Materiais de pintura, técnica de pintura, cartões, pigmentos.*

KEY WORDS: *Painting materials, painting techniques, cardboards, pigments.*

I. INTRODUÇÃO

As cores surgidas durante o século XIX (pigmentos e corantes sintéticos), os novos suportes (cartões leves, portáteis, de pequenas dimensões e, talvez, económicos), os tubos de tinta colapsáveis (Ayres 1985; Bomford *et al.* 1990) e a possibilidade da utilização da fotografia para o registo imediato de cenas que eram depois transferidas para as obras (Calado 1993), foram inovações que facilitaram o desenvolvimento da pintura ao ar livre, nas últimas décadas do século XIX.

Tendo feito parte da sua formação em Paris (na Academia Julian) (Oliveira 2006), o principal centro artístico europeu de então, até que ponto a pintora portuguesa Aurélia de Sousa (1866-1922) foi influenciada por estas inovações e o que integrou nas obras que executou? Que uso fez destas novas cores e de que forma o fez? Como utilizou os suportes de cartão, surgidos nesta ocasião, que permitiram aos pintores trabalhar fora dos ateliers com mais facilidade, substituindo as telas menos

versáteis, mais pesadas e mais susceptíveis de sofrer danos durante a manipulação? E o emprego de suportes desse tipo denota a aquisição de um material recente, especificamente, produzido para os pintores ou a apropriação de um cartão sem essa finalidade? É possível estabelecer relação entre a escolha destes suportes, os materiais empregues e as técnicas de execução seguidas, por um lado, e, por outro lado, o resultado final, ou seja, a obra artística e o seu tema?

Estas são algumas das questões a que se procurou responder, começando pelo estudo de um conjunto de cinco pinturas sobre cartão, representando paisagens e motivos florais (Figs. 1 a 5). Trata-se de obras de pequena dimensão com forma rectangular, quase quadrada, com altura e largura que variam entre 14 e 30 cm e entre 18 e 43 cm, respectivamente. Os cartões têm espessura entre 0,3 e 0,7 cm, a qual em três obras é de 0,5 cm. As pinturas pertencem à Casa-Museu Marta Ortigão Sampaio (Porto) e não estão datadas.



Fig. 1. *Balastrada na Quinta da China* (18,2 cm x 38,9 cm x 0,5 cm).



Fig. 3. *Rio* (31,6 cm x 43,0 cm x 0,5 cm).



Fig. 5. *Tarde no campo* (30,5 cm x 43,0 cm x 0,5 cm).

II. MÉTODOS DE EXAME E ANÁLISE

Os suportes em cartão foram caracterizados mediante microscopia óptica (OM). Os materiais de pintura (pigmentos e cargas) foram identificados por espectrometria de fluorescência de raios X dispersiva de energia (EDXRF), tendo sido usado um equipamento portátil não invasivo constituído



Fig. 2. *Flores ao ar livre* (18,2 cm x 22,2 cm x 0,6 cm).



Fig. 4. *Pôr-do-sol* (14,0 cm x 18,5 cm x 0,3 cm).

por tubo de raios X com ânodo de prata; detector Si-PIN da AMPTEK termoelectricamente refrigerado, com 7 mm² de área efectiva, janela de Be com 7 mm de diâmetro e 25 µm de espessura e resolução de 180 eV (FWHM); e sistema multicanal MCA Pocket 8000A da AMPTEK. Todas as zonas foram analisadas nas seguintes condições: tensão de 25 kV; intensidade de corrente de 9 microamperes; tempo de aquisição de 100 s. Com o mesmo objectivo da identificação de pigmentos e cargas foi também usada a OM. A OM e a EDXRF são dois métodos frequentemente usados para a identificação de pigmentos e cargas utilizados em pintura e a sua combinação é especialmente vantajosa (Cesareo *et al.* 2008; Doménech Carbó *et al.* 2006; Gar-

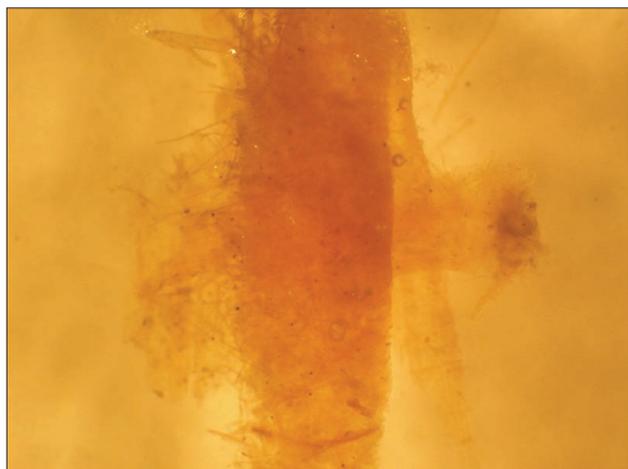


Fig. 6. Sobreposição de camadas de fibras dispostas, aleatoriamente (OM, ampliação de 40x).

cia *et al.* 2008; Pinna *et al.* 2009; Stuart 2007; Szokefalvi-Nagy *et al.* 2004).

A estrutura das obras, nomeadamente a sequência das camadas cromáticas, foi estudada através de radiografias (Hassell 2005, Pinna *et al.* 2009) realizadas com ampola portátil da marca SMART, modelo 160E/0.4, com tensões entre 35 e 40 kV; intensidades de corrente de 6 mA e tempos de exposição entre 20 e 45 s. De uma forma mais pontual, essa sequência foi estudada através da observação de amostras estratigráficas, montadas em resina, através de microscópio binocular OLYMPUS, modelo BX41, com óptica corrigida ao infinito erro do micrómetro ocular de 10 μm para a ampliação de 100x e 5 μm para a ampliação de 200x. Essas imagens foram registadas com câmara digital OLYMPUS, C-4040 Zoom.

A técnica pictórica, como é habitual (Bertani 2006; Faries 2005; González Mozo *et al.* 2005; Mairinger 2000a, 2000b), também foi investigada com o recurso a documentação fotográfica no espectro visível (luz directa e luz rasante), fotografia de fluorescência de ultravioleta, fotografia digital de infravermelho obtida com filtro IR B+W 093 e sistema de detecção sensível até 1100 nm, e reflectografia de infravermelho obtida com equipamento portátil constituído por câmara C274 1-03NT com controlador CC2741-03CC e tubo vidicon de infravermelho, da Hamamatsu.

III. MATERIAIS

Suporte

Os cartões, de coloração amarela, são todos do mesmo tipo e têm uma estrutura laminar. Microscopicamente observa-se a sobreposição de camadas com fibras que estão dispostas de forma aleatória e não seguem uma direcção preferencial (Figura 6). Mantêm-se unidas através de um adesivo. As fibras são de origem vegetal, havendo misturas de fibras de algodão (escassas) e, provavelmente, juta e esparto (Catling e Grayson 1982). A mistura de vários tipos de fibra —de reserva, de transporte de seiva e de sustentação— sem selecção das mesmas antes da preparação do cartão, denota um material de qualidade inferior (Figs. 7, 8 e 9). Um cartão de boa qualidade, só teria fibras de sustentação na sua composição, o que não acontece nestes casos.

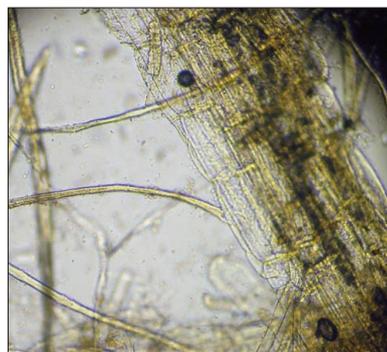


Fig. 7. Fibras de reserva (OM, ampliação de 200x).



Fig. 8. Fibras de transporte de seiva (OM, ampliação de 200x).



Fig. 9. Fibras de sustentação (OM, ampliação de 200x).

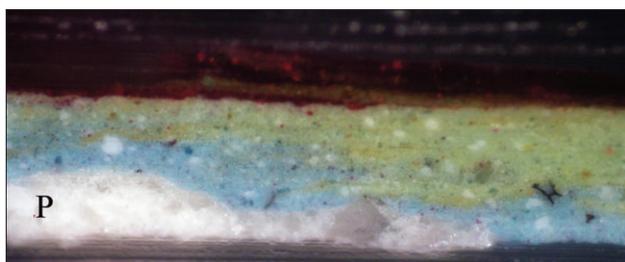


Fig. 10. Corte estratigráfico na zona de flor vermelha sobre folha verde e fundo azul da obra *Balaustrada da Quinta da China* (OM, ampliação de 200x). A camada de preparação está assinalada com a letra P.

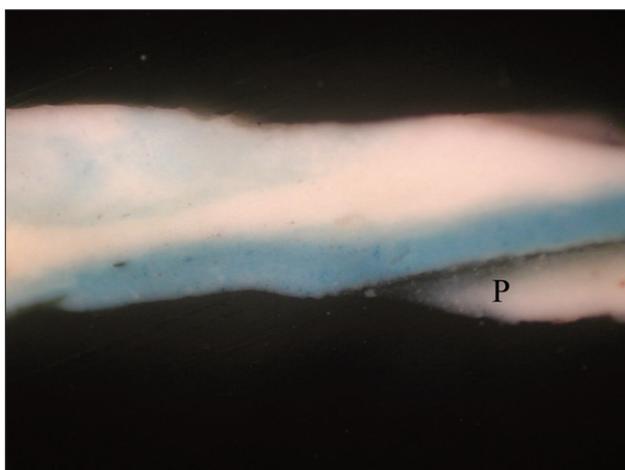


Fig. 12. Corte estratigráfico na zona de nuvem sobre céu azul na obra *Tarde no Campo* (OM, ampliação de 200x). A camada de preparação está assinalada com a letra P.

Na obra *Balaustrada na Quinta da China* (Figura 1), através da observação à vista desarmada da secção transversal, verificou-se que o cartão está impregnado, na face pintada, por um material não identificado. Embora não possa ser excluída a possibilidade de absorção do óleo da camada preparatória ou da primeira camada cromática pelo cartão, parece mais provável essa impregnação resultar da aplicação de camada de encolagem ou de película de isolamento.

Não é possível afirmar se os cartões eram destinados a uso artístico ou se a pintora aproveitou cartões fabricados para outros usos. De qualquer modo, há uniformidade de suportes que denota preferência por um determinado tipo.

Camada de preparação

Das cinco obras estudadas, apenas três apresentam camada de preparação, visível à vista des-

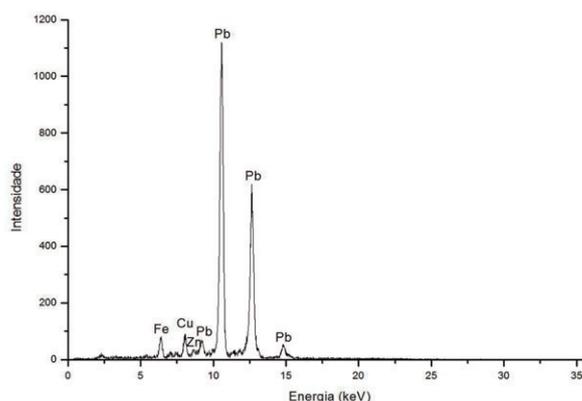


Fig. 11. Espectro de EDXRF obtido na zona onde foi recolhida a amostra da Fig. 10.

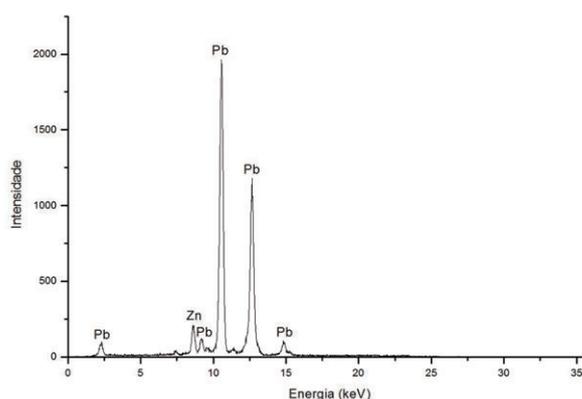


Fig. 13. Espectro de EDXRF obtido na zona onde foi recolhida a amostra da Fig. 12.

armada nas lacunas e estalados existentes. São elas: *Balaustrada da Quinta da China*, *Tarde no Campo* (Figura 5) e *Rio* (Figura 3). As amostras recolhidas mostram que a camada tem uma espessura irregular em qualquer uma destas obras. Além disso, a preparação não cobre toda a superfície da primeira, estando o cartão à vista, nalgumas áreas.

Relativamente à composição, a observação por OM revela que na obra *Balaustrada da Quinta da China* a preparação é constituída por dois tipos de partículas brancas misturadas, umas de maiores dimensões, irregulares e translúcidas, outras mais finas e opacas (Figura 10). Em *Tarde no Campo* e *Rio* a composição é mais uniforme, sendo as partículas finas e translúcidas (Figs. 12 e 14).

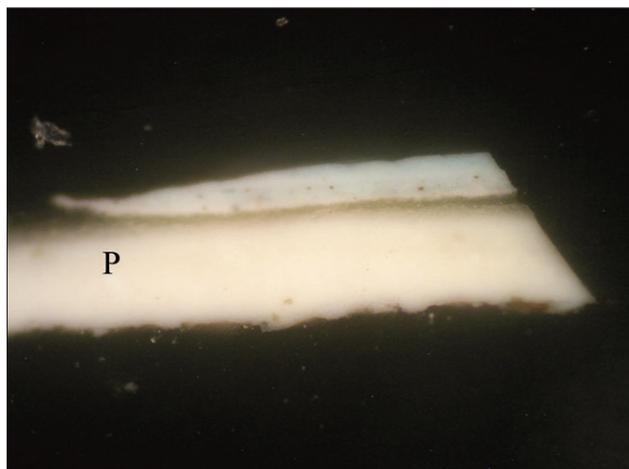


Fig. 14. Corte estratigráfico na zona de montanha na obra *Rio* (OM, ampliação de 200x). A camada de preparação está assinalada com a letra P.

Em todos os locais analisados das três obras, os espectros de EDXRF contêm picos devidos ao Pb e ao Zn. Os do Pb são geralmente intensos, pelo que dão conta do uso de pigmentos de Pb (nomeadamente branco de chumbo) na camada superficial, mas os do Zn são pouco intensos e, por isso, devem corresponder a um material da camada de preparação. Atendendo a estes resultados e à opacidade dos pigmentos, as partículas translúcidas devem corresponder a branco de zinco e as opacas a branco de chumbo. Assim, na preparação da obra *Balaustrada da Quinta da China* foi usada uma mistura de branco de chumbo e branco de zinco e nas duas outras obras, apenas branco de zinco.

Nas obras *Pôr-do-sol* (Figura 4) e *Flores ao ar livre* (Figura 2) não foi detectada camada de preparação. Na primeira, o suporte foi deixado à vista, intencionalmente, tendo a artista aproveitado a sua cor quente, para o efeito final da obra. Em *Flores ao ar livre*, embora não tenha sido detectada uma camada uniforme de preparação, localmente foram aplicadas várias camadas de tinta, algumas das quais se observam à superfície, as quais são responsáveis pela mancha clara, traduzindo opacidade aos raios X, observada na radiografia (Figura 16).

Não sendo constante a aplicação da camada de preparação, seja pela sua ausência, seja pela irregularidade da sua espessura, parece pouco provável que os suportes, caso se destinassem a uso artístico, fossem comercializados já com essa

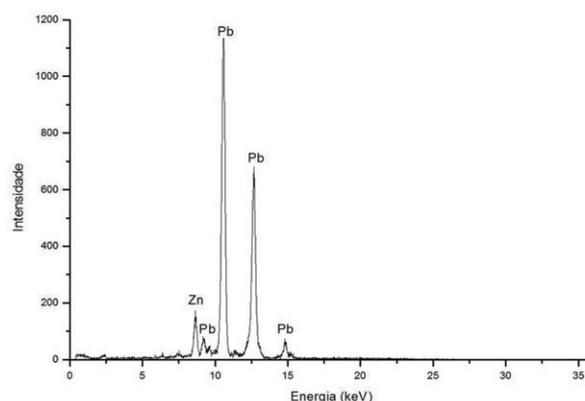


Fig. 15. Espectro de EDXRF de zona próxima do local, com semelhantes características cromáticas e estratigráficas, onde foi recolhida a amostra da Fig. 14.

camada. É mais provável que a mesma tenha sido colocada pela pintora.

Apenas uma das pinturas, *Balaustrada da Quinta da China*, apresenta o que parece ser um filme de isolamento (encolagem), visível na secção transversal. Nas outras duas obras com camada de preparação não foi detectada camada de encolagem, ao contrário do que é habitual na pintura sobre tela.

Camadas cromáticas

Branco

A paleta da pintora é, em geral, clara, recorrendo, abundantemente, ao branco, quer como tom puro, quer para clarear as outras cores. Este



Fig. 16. Radiografia da obra *Flores ao livre*.



Fig. 17. Radiografia da obra *Rio* com indicação da zona (A) onde foi recolhida a amostra estratigráfica da Fig. 18.

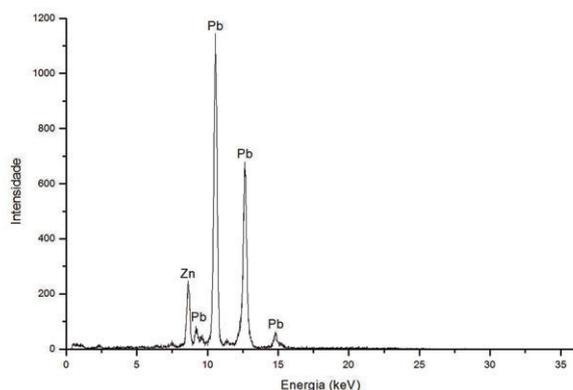


Fig. 19. Espectro de EDXRF obtido na zona onde foi recolhida a amostra da Fig. 18.

gosto pela claridade é visível no uso das preparações brancas que contribuem para a luminosidade das camadas cromáticas subjacentes. A exceção observada na pintura *Pôr-do-sol*, em que aproveitou a cor amarelada do cartão pode explicar-se pelo próprio tema.

Como se disse, de acordo com espectros de EDXRF, o pigmento branco usado é o branco de chumbo. As observações de OM suportam essa interpretação.

Azuis

Salvo na obra *Pôr-do-sol*, não foram detectados por EDXRF elementos que possam ser relacionados com pigmentos azuis, pelo que essa cor será devida a materiais como o azul ultramarino ou o



Fig. 18. Corte estratigráfico de amostra recolhida na zona de cor branca da obra *Rio* (OM, ampliação de 200x). A camada cromática composta por branco de chumbo está assinalada com a letra C.

índigo, constituídos por elementos não detectáveis nas condições em que foram obtidos os espectros, ou seja, elementos com reduzido número atómico. A observação, com lupa binocular, de partículas azuis na superfície das pinturas leva a excluir a hipótese do índigo ou de outro corante e sugere tratar-se de azul ultramarino. As observações de OM (Figura 12) apontam no mesmo sentido e, além disso, devido à uniformidade do tamanho das partículas azuis, sugerem que foi usada a variedade artificial do azul ultramarino, tal como seria previsível na época de Aurélia de Sousa.

Na obra *Pôr-do-sol*, considerando a detecção de Co por EDXRF (Figura 21), as partículas azuis grandes, angulosas e com tamanho irregular, observadas por OM, e o facto de o esmalte já não ser usado em finais do século XIX, foi empregue azul de cobalto. Na zona de cor roxa, de acordo com os espectros de EDXRF, este pigmento foi misturado com vermelho (Figura 20).

Verdes

Em todas as áreas verdes analisadas por EDXRF, excepto na obra *Pôr-do-sol*, foi detectada concentração significativa de Fe que sugere o uso de terra verde, o que é apoiado pelas partículas verdes pequenas e uniformes observadas por OM. A não detecção por EDXRF de outros elementos deste pigmento, nomeadamente, Mg e Al, está de acordo com as condições de análise.

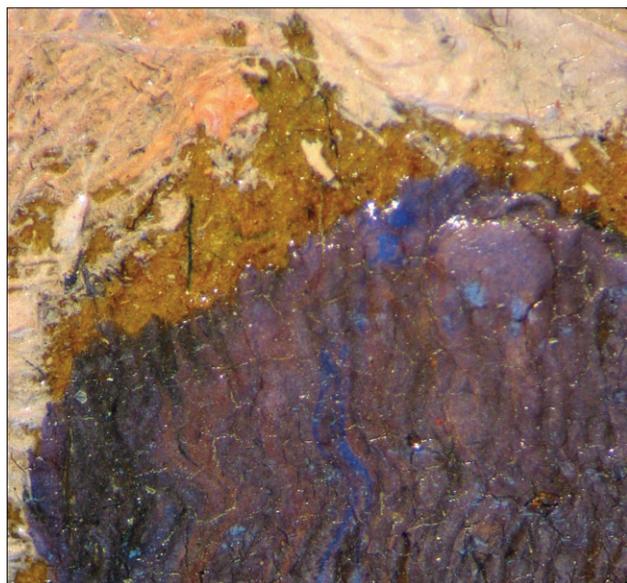


Fig. 20. Pormenor da zona de cor roxa, da obra *Pôr-do-sol*, composta pela mistura de azul e vermelho (OM, ampliação de 32x).

Na obra *Pôr-do-sol*, não obstante o mesmo tom verde sombrio, foi usado um pigmento de crómio, como é evidenciado pelos picos de Cr no espectro de EDXRF obtido (Figura 24). A cor observada por OM e a reduzida absorção da radiação infravermelha observada na fotografia de infravermelho (Figura 22) sugerem que se trata de verde de óxido de crómio, Cr_2O_3 .

Amarelos

A observação directa das pinturas permite distinguir dois pigmentos amarelos. As zonas de coloração mais intensa originaram espectros de EDXRF que mostram a presença de Cr, têm elevada opacidade aos raios X e exibem fluorescência de ultravioleta de cor verde acastanhada. Isto permite concluir que nessas zonas foi usado amarelo de crómio. As zonas de cor amarela menos intensa são menos opacas aos raios X e contêm um material com Fe. Neste caso trata-se do ocre amarelo.

Vermelhos

A detecção de Hg por EDXRF, nas zonas vermelhas, além dos resultados obtidos pelos outros métodos, permite concluir que o pigmento vermelho usado é o vermelhão. Na obra *Balaustrada da Quinta da China* foi observado um outro tom

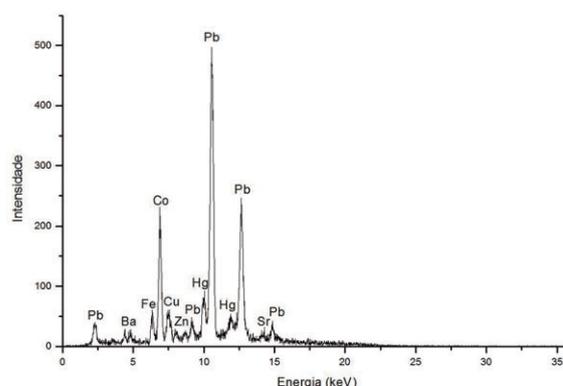


Fig. 21. Espectro de EDXRF obtido na zona roxa da Fig. 20.

vermelho, mais escuro, que corresponde a zonas de reduzida opacidade na radiografia e transparentes ao infravermelho. Nas amostras estudadas por OM não foram observadas partículas individualizadas e, por outro lado, nos espectros de EDXRF não foi detectado qualquer elemento característico de pigmentos vermelhos. Neste caso, é provável, que o vermelho corresponda a uma laca.

Castanhos

Nas áreas castanhas foi sempre detectado Fe por EDXRF, o que, conjugado com as partículas castanhas arredondadas de dimensões heterogéneas, observadas por OM, permite concluir que foi usado o ocre castanho.

IV. TÉCNICA DE EXECUÇÃO

Nas pinturas são visíveis escassos traços de desenho subjacente feito com um material negro pouco coeso e mate (provavelmente, carvão ou grafite). Alguns dos traços apenas se observam através de fotografia e reflectografia de infravermelho, mas outros não foram cobertos por tinta e permanecem à vista e integrados na própria composição (Figuras 25 e 26). O desenho correspondente a esses traços não parece ter sido usado para definir pormenores, mas apenas para delimitar determinadas áreas (Figura 22), de uma forma muito geral. Noutras zonas, no entanto, semelhante delimitação foi feita com tinta, nomeadamente através de mudança de tom e aplicação de empastes. O gosto pelos efeitos plásticos obtidos com esta conjugação de desenho e pintura parece sobrepor-se à preocu-



Fig. 22. Fotografia de infravermelho da obra *Pôr-do-sol*.

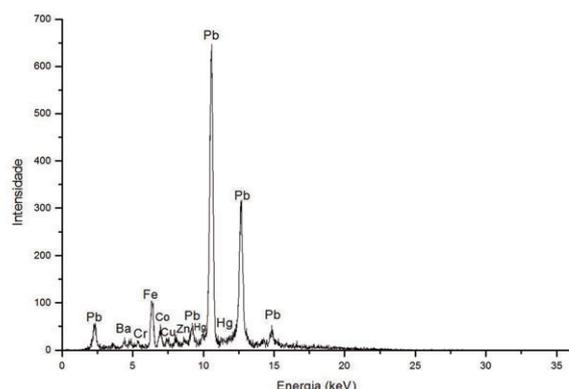


Fig. 24. Espectro de EDXRF obtido na zona onde foi recolhida a amostra da Fig. 23.

pação pela perícia e minúcia do desenho e ao uso deste como base para posterior aplicação da cor.

A cor foi obtida, sobretudo, pela mistura de tons na paleta e na superfície da pintura e não, através da sobreposição de camadas de tinta. As cores, portanto, raramente são puras. Por exemplo, os céus, ainda que pintados sobre uma camada preparatória branca, de uma forma geral, apresentam mistura de pigmentos azuis e pigmentos brancos, com predominância de um ou do outro conforme o tom. Na obra *Pôr-do-sol*, que não tem camada de preparação, a tonalidade mais quente do céu foi obtida com uma mistura de pigmentos azuis, brancos e vermelhos.

No entanto, o número de camadas de tinta aplicadas em algumas áreas é significativo, atingindo cinco estratos, ainda que noutras zonas ape-

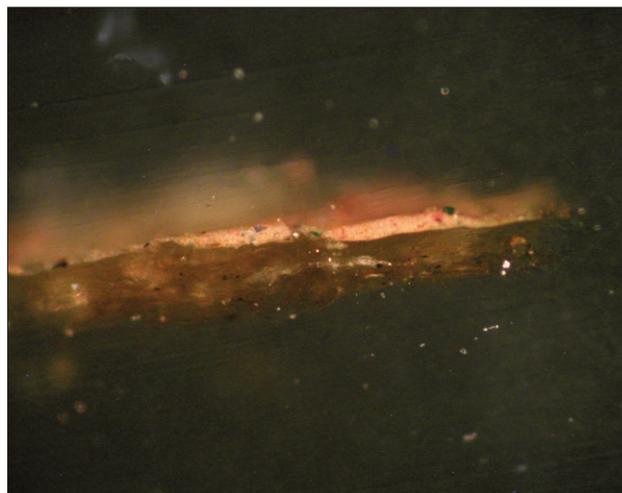


Fig. 23. Corte estratigráfico de amostra da zona de cor verde rosada, da obra *Pôr-do-sol*, composta por partículas verdes, azuis e vermelhas (OM, ampliação de 200x), recolhida na zona assinalada com a letra A na Fig. 22.

nas exista um. Essa sobreposição, porém, de uma forma geral, não parece estar relacionada com o processo de obtenção da cor, já que não é significativa a transparência dessas camadas, mas parece antes resultar da espontaneidade do processo pictórico, a que provavelmente não será alheia a aparente ausência de desenho detalhado.

O processo pictórico parece caracterizar-se também pelo uso impressionista da forma de manipulação e aplicação das tintas. Assim, por exemplo, não parece ter havido preocupação em obter misturas uniformes dos tons que surgem num mesmo estrato, notando-se com frequência que a cor da mescla, gradualmente, se altera na superfície da pintura, em resultado de uma rápida e incompleta mistura na paleta. Para a obtenção de uma certa tonalidade, o pincel não parece ter permanecido muito tempo na paleta, antes transportando numa mesma passagem cores puras e mistura das mesmas, numa amálgama que só atingiu o seu estado final à medida que foi sendo aplicada. Além do uso impressionista dos materiais, este procedimento denota igualmente uma execução rápida.

De forma semelhante se pode interpretar as significativas variações da espessura dos estratos pictóricos e da camada de preparação e o recurso frequente aos empastes para definir pormenores e contornos dos elementos da composição. Esta forma de representar com relevo detalhes de flores, nuvens



Fig. 25. Pormenor da obra *Pôr-do-sol* (25x).

ou folhagens das árvores, por exemplo, imprime um efeito vibratório às obras, para o qual também contribui a textura da camada de preparação.

V. CONCLUSÃO

As cinco obras estudadas foram executadas sobre cartão que, provavelmente, não era destinado a uso artístico, mas que, tendo um outro fim, foi aproveitado e preparado por Aurélia de Sousa. Os temas, todos de exterior, a partir de um escasso desenho, foram desenvolvidos com uma técnica rápida de pintura, envolvendo um uso impressionista da cor e da pincelada, adaptando-se, tal como o suporte e o desenho, às condicionantes do espaço em que as obras foram executadas.

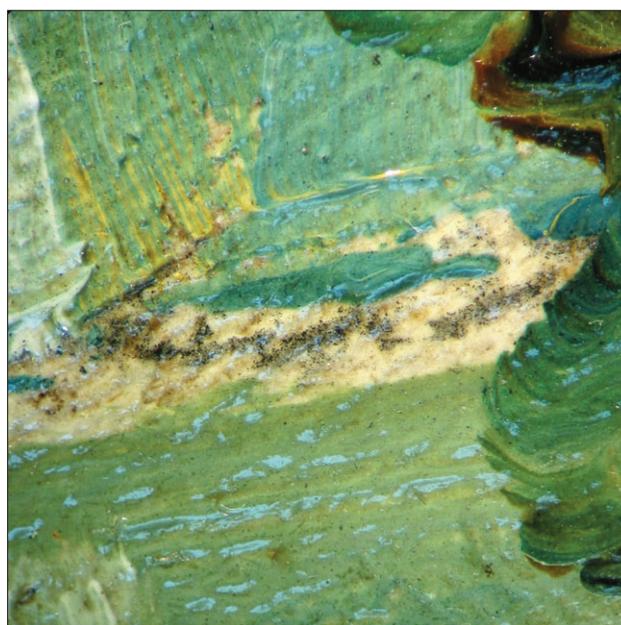


Fig. 26. Pormenor da obra *Balaustrada da Quinta da China* (25x).

No que diz respeito à cor, a paleta é colorida e viva, envolvendo em simultâneo pigmentos tradicionais, como o branco de chumbo, o vermelhão, a terra verde, os ocre amarelo e castanho e pigmentos modernos, como o azul ultramarino artificial, o azul de cobalto, o verde de óxido de crómio e o amarelo de crómio, pigmentos estes que apenas no século XIX começaram a ser usados, especialmente na segunda metade da centúria. Na camada de preparação empregou o branco de zinco.

De uma forma geral, os diversos pigmentos foram detectados nas cinco obras, mas o verde de óxido de crómio e o azul de cobalto parecem ter sido usados apenas na pintura *Pôr-do-sol*, a qual também se distingue das restantes pelo facto de apresentar o suporte à vista, tendo a artista aproveitado a sua cor para o efeito final.

REFERÊNCIAS

- AYRES, J. 1985: *The artist's craft. A history of tools, techniques and materials*. Phaidon. Oxford.
- BERTANI, D. 2006: "La reflectografía infrarroja". Em G. Finaldi, C. Garrido (coord.): *El Trazo Oculto. Dibujos Subyacentes en Pinturas de los Siglos XV y XVI*. Museo Nacional del Prado. Madrid: 54-63.
- BOMFORD, D.; KIRBY, J.; LEIGHTON, J. e ROY, A. 1990: *Art in the Making. Impressionism*. The National Gallery. London.
- CALADO, J. 1993: "Documentos para artistas. As relações entre a fotografia e a pintura". In SILVA, R. H. (coord.): *Silva Porto, 1850-1893: Exposição Comemorativa do Centenário da sua Morte. Museu Nacional de Soares dos Reis. Instituto Português de Museus*. Lisboa: 26-35.
- CATLING, D. e GRAYSON, J. 1982: *Identification of vegetable fibres*. Chapman and Hall Ltd. London.
- CESAREO, R.; RIDOLFI, S.; MARABELLI, M.; CASTELLANO, A.; BUCCOLIERI, G.; DONATIVI, M.; GIGANTE, G. E.; BRUNETTI, A. e MEDINA, M. A. R. 2008: "Portable Systems for Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Works of Art". Em P. J. Potts, M. West (coord.): *Portable X-ray Fluorescence Spectrometry. Capabilities for in Situ Analysis*. RSC Publishing. Cambridge: 206-246.
- DOMÉNECH CARBÓ, M. T. e YUSÁ MARCO, D. J. 2006: *Aproximación al Análisis Instrumental de Pigmentos Procedentes de Obras de Arte*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- FARIES, M. 2005: "Analytical capabilities of infrared reflectography: an art historian's perspective". Em *Scientific Examination of Art. Modern Techniques in Conservation and Analysis*. National Academies Press. Washington, DC: 85-104.
- GARCÍA, C. R. e BARBER, D. J. 2008: "Fluorescencia de Rayos X mediante equipo portátil aplicada al estudio y conservación del patrimonio cultural". Em M. Egido, T. Calderón (coord.): *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico. Instituto del Patrimonio Histórico Español*. Madrid: 140-150.
- GONZÁLEZ MOZO, A. e ALBA CARCELÉN, L. 2005: "Uso de la ultravioleta para el estudio del estado de conservación de la pintura de caballete". Em *Investigación en Conservación y Restauración. II Congreso del Grupo Español del IIC*. Museu Nacional d'Art de Catalunya. Barcelona: 43-51.
- HASELL, C. 2005: "Paintings". Em J. Lang, A. Middleton (coord.): *Radiography of Cultural Material*. Elsevier-Butterworth-Heinemann. Oxford: 112-129.
- MAIRINGER, F. 2000a: "The infrared examination of paintings". Em D. C. Creagh, D. A. Bradley (coord.): *Radiation in Art and Archeometry*. Elsevier. Amsterdam: 40-55.
- 2000b: "The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts". Em D. C. Creagh, D. A. Bradley (coord.): *Radiation in Art and Archeometry*. Elsevier. Amsterdam: 56-75.
- OLIVEIRA, M.^a J. 2006: *Aurélia de Souza em contexto: a cultura artística no fim do século*. Imprensa Nacional-Casa da Moeda. Lisboa: 342.
- PINNA, D.; GALEOTTI, M. e MAZZEO, R. (coord.) 2009: *Scientific Examination for the Investigation of Paintings. A Handbook for Conservator-restorers*. Centro Di. Firenze.
- STUART, B. 2007: *Analytical Techniques in Materials Conservation*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- SZOKEFALVI-NAGY, Z.; DEMETER, I.; KOCSONYA, A. e KOVACS, I. 2004: "Non-destructive XRF analysis of paintings". *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-beam Interactions With Materials and Atoms* 226(1-2): 53-59.

PIGMENTOS DE SULFURO DE MERCURIO -CINABRIO- EN CONTEXTOS FUNERARIOS DE ÉPOCA CALCOLÍTICA EN EL SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: INVESTIGACIONES SOBRE EL USO, DEPÓSITOS MINERALES EXPLOTADOS Y REDES DE DISTRIBUCIÓN A TRAVÉS DE LA CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL E ISOTÓPICA

MERCURY SULPHIDE PIGMENTS -CINNABAR- IN CHALCOLITHIC FUNERARY CONTEXTS IN SOUTHERN IBERIAN PENINSULA: RESEARCH ON THE USE, EXPLOITED MINERAL DEPOSITS AND DISTRIBUTION NETWORKS BY MEANS OF COMPOSITIONAL AND ISOTOPIC CHARACTERIZATION

Mark A. Hunt Ortiz (1) / Víctor M. Hurtado Pérez (1)

(1) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla

RESUMEN: El registro arqueológico está mostrando el uso relativamente común de pigmentos rojos durante la Prehistoria en el Sur de la Península Ibérica. La aplicación de técnicas arqueométricas (XRF) ha permitido la identificación de cinabrio (HgS) en contextos funerarios de época Calcolítica. Con el objetivo de establecer la procedencia de ese mineral de mercurio, se han analizado por medio de Isótopos de Plomo muestras de pigmentos de cinabrio de esos contextos calcolíticos, así como muestras de mineralizaciones de cinabrio surpeninsulares.

SUMMARY: The archaeological data is showing the relatively common use of red pigments in Prehistory in southern Iberian Peninsula. The application of archaeometric techniques (XRF) has allowed the identification of cinnabar (HgS) in Chalcolithic period funerary contexts. In order to establish the provenance of this mercury ore, cinnabar pigments obtained from these Chalcolithic contexts have been analyzed by Lead Isotopes, as well as samples from cinnabar mineralizations located in Southern Iberian Peninsula.

PALABRAS CLAVE: Pigmentos, cinabrio, Calcolítico, Sur de la Península Ibérica, FRX, Isótopos de Plomo.

KEY WORDS: Pigments, cinnabar, Chalcolithic, Southern Iberian Peninsula, XRF, Lead Isotopes.

I. INTRODUCCIÓN

En el marco de la investigación arqueológica desarrollada en el Proyecto “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” (MAT205-00790; Ministerio de Ciencia e Innovación) (Almarza López *et al.* 2008), se profundizó en una de las líneas de trabajo antes iniciada centrada en la caracterización arqueométrica de los recursos abióticos utilizados por las comunidades prehistóricas en el Suroeste de la Península Ibérica (Hunt Ortiz 2003).

Partiendo de este contexto general, la investigación está siendo continuada en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía mediante el Proyecto de Excelencia “El Patrimonio Histórico Minero de Andalucía” (PO6-HUM-02159; Conseje-

ría de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía), centrada ahora concretamente en la caracterización arqueométrica y la posibilidad de establecer la procedencia de los pigmentos rojos utilizados en relación con rituales funerarios en época Calcolítica en el Sur de la Península Ibérica, cuyos resultados preliminares se presentan.

II. EL USO DE PIGMENTOS DE MERCURIO EN LA PREHISTORIA

El uso de compuestos minerales con fines no metalúrgicos antecede en miles de años a su utilización en la producción metálica. El uso de ocre, óxidos de hierro, con fines rituales o culturales está documentado en Europa desde el Paleolítico (Alimen y Steve 1977: 50), siendo las explotaciones de estos ocre las labores mineras de mayor antigüedad (Shepherd 1980: 210; Wagner y Weisgerber 1988: 265).

Respecto a las evidencias concretas de minería y uso del cinabrio (sulfuro rojo de mercurio —HgS—) se ha constatado su explotación y tratamiento en el IV milenio a. C., en la mina de Suplja Stena, cerca del actual Belgrado, en el contexto de la fase reciente de la cultura de Vinca (Jovanovic 1978: 342; Shepherd 1980: 229; Mioc *et al.* 2004).

Uno de los yacimientos de mayor antigüedad en los que se ha constatado el uso de cinabrio en la Península Ibérica es el Dolmen de Alberite (Villamartín, Cádiz), fechado en el V milenio a. C.; los pigmentos rojos cubrían parte de las paredes de la cámara y formaban un nivel rojo (de hasta 10 cm. potencia) en el suelo de algunas partes de la galería. El análisis de estos pigmentos por XRD mostró que se habían utilizado tanto hematites (Fe_2O_3), como cinabrio (HgS), a veces mezclados en diversas proporciones (Rodríguez Bella y Morata Céspedes 1995). Se apuntaba que el cinabrio procedería de una distancia mínima de 200 km (Rodríguez Bella y Morata Céspedes 1995:141).

También se ha constatado el uso ritual de pigmento rojo en el Dolmen de la Velilla (Osorno, Palencia), fechado en torno al 3.000 a. C. En este caso se documentaron cientos de kilos de bermellón, producido mediante la trituración a polvo del cinabrio. Se consideró que la procedencia del mineral utilizado tuvo que ser necesariamente lejana, al encontrarse las mineralizaciones de cinabrio más próximas a 160 km de distancia (Martin Gil *et al.* 1994; 1994a; 1995).

En la revisión de la bibliografía referida a intervenciones arqueológicas en yacimientos de carácter funerario del Suroeste peninsular de época Calcolítica, las menciones al uso de “ocre” (como son denominados genéricamente los pigmentos rojos) son relativamente frecuentes, como ocurre en los tholoi de la Pijotilla (Badajoz) (Hurtado Pérez 1988: 46), en los dólmenes de Ontiveros y Montelirio de Valencina (Sevilla) (Vargas Jiménez, 2004: 51-52), en Los Molares (Sevilla) (Cabrero García *et al.* 1995: 193) y en los dólmenes de El Pozuelo (Huelva) (Cerdán *et al.* 1952: 86). Además de las menciones genéricas al uso de ocre, también hay referencias expresas al uso de cinabrio, como en el dolmen de Marcella, en el Algarve portugués, con “dos grandes pedazos de cinabrio y un pedazo de

hematita vermellón” (Obermaier 1919: 62) y, más recientemente y determinado analíticamente, en las tumbas E-2, E-3 y E-4 de la necrópolis calcolítica (III milenio a. C.: de Paraje de Monte Bajo (Alcalá de los Gazules, Cádiz) (Lazarich González 2007).

III. MUESTRAS ARQUEOLÓGICAS ESTUDIADAS

Como se ha indicado, uno de los objetivos de esta investigación es la caracterización analítica de pigmentos rojos procedentes de contextos arqueológicos, presentándose ahora los resultados de las muestras obtenidas de los yacimientos de La Pijotilla (Badajoz) y de el Dolmen de Montelirio (Castilleja de Guzmán, Sevilla).

De La Pijotilla se contaba con los resultados del análisis de XRF de dos muestras de pigmentos rojos procedentes de la Tumba 3 (nº inv. P-95.T-3.CII-4.19 y P-95.T-3.BIII-1.19), que resultaron ser, en ambos casos, óxidos de hierro (Hunt Ortiz 2003: 168).

Recientemente, en la revisión llevada a cabo en el Museo de Badajoz del registro arqueológico de la Tumba 1, tipo tholos, de La Pijotilla, se documentó una acumulación de pigmento rojo sobre una lámina atípica apuntada de pizarra (nº inv. 11.157) (Figura 1), excavada en los niveles de enterramiento. Tanto esta Tumba 1 como la Tumba 3 han sido datadas en un momento Pre-Campaniforme (Hurtado Pérez 1999: 55).

El Dolmen de Montelirio, situado en el ámbito del yacimiento de Valencina, en término de Castilleja de Guzmán (Sevilla), fue localizado en la “enorme intervención de prospección con sondeos realizada en 1998”, detectándose entonces el uso de ocre en su corredor. Posteriormente fue excavada parte de la cámara, documentándose el uso del ocre en el ritual

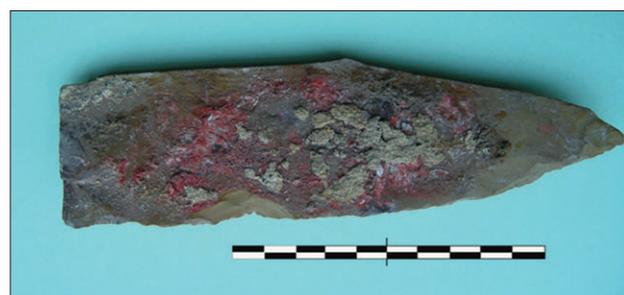


Fig. 1. Hoja lítica con ocre (nº inv. 11.157) procedente de la Tumba 1 de La Pijotilla (Badajoz).



Fig. 2. Dolmen de Montelirio: detalle del pigmento rojo en uno de los ortostatos de la cámara (campana excavación 2007).

funerario y en las pizarras que conforman sus paredes (Figura 2). Este dolmen, de cámara y corredor, se ha datado en los inicios del III milenio a. C. (Vargas Jiménez 2004: 52). Las muestras del Dolmen de Montelirio, denominadas DJ07-32.C46-Pizarra cámara y DJ07-32-Sondeo 7-, fueron obtenidas en la intervención arqueológica realizada en el año 2007, y cedidas por su director, D. Álvaro Fernández Flores, que también dirigió la excavación en extensión que posteriormente se llevó a cabo.

En estado pulverulento y sin preparación previa, una muestra de pigmento rojo de la Tumba-1 de La Pijotilla y las dos muestras excavadas en el Dolmen de Montelirio, fueron analizadas

en el Laboratorio de Rayos X del Centro de Investigación, Tecnología e Innovación (CITIUS), de la Universidad de Sevilla mediante Microfluorescencia de Rayos X EDAX-modelo Eagle III, con anticátodo del tubo de rayos-X de Rh, y detector de energías dispersivas de rayos-X. El tiempo de medida, en 40 Kv, fué de 300s. El equipo está provisto de una cámara de video adaptada (10/100 aumentos), que permitió la selección de las áreas a analizar, determinándose los elementos presentes (Na a U) cualitativa y cuantitativamente.

Los resultados de las muestras arqueológicas de pigmentos rojos de La Pijotilla y del Dolmen de Montelirio analizadas por XRF fueron los representados en la Tabla 1.

En general, de estos resultados cabe destacar la determinación de la presencia de minerales de mercurio (Hg) utilizados como pigmentos en La Pijotilla y en la muestra obtenida de uno de los ortostatos de la cámara del Dolmen de Montelirio (Montelirio DJ07 32.C46). La otra muestra de pigmento rojo del Dolmen de Montelirio (DJ07 Sondeo 7) correspondería a un óxido de hierro (Fe).

Respecto a los minerales de mercurio, además de por las características físicas, la presencia de azufre en ambas muestras permite identificar la especie mineral como cinabrio (HgS), mucho más concentrado en el caso de La Pijotilla y probablemente mezclado con mineral de hierro en el caso del Dolmen de Montelirio.

IV. DEPÓSITOS MINERALES DE MERCURIO DEL SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Como primer paso para determinar la posibilidad de establecer la procedencia de los pigmentos de cinabrio excavados en contextos calcolíticos, se ha llevado a cabo una aproximación

Wt % (nd=no detectado)	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Hg
Pijotilla 11157	1.46	1.69	4.55	0.87	2.91	nd	0.07	0.49	87.95
Montelirio DJ07 32.C46	nd	0.39	8.09	1.58	1.40	1.07	0.05	57.97	29.45
Montelirio DJ07 Sondeo7	nd	4.33	nd	3.20	9.74	1.72	0.17	65.62	nd

Tabla 1. Resultados XRF de pigmentos rojos de La Pijotilla y del Dolmen de Montelirio.

a la ubicación y características de los depósitos minerales que lo contienen en el Sur de la Península Ibérica.

Sin yacimientos conocidos en la Zona Sudportuguesa, en la Zona geológica de Ossa Morena los únicos depósitos de cinabrio son los situados en la zona de Usagre (Badajoz) (Tornos y Locutura 1989). En esta mineralización de mercurio de Usagre, la explotación de las Minas Mariquita y Sultana está documentada desde el siglo XVI d. C., continuándose hasta la década de 1970. En el reconocimiento limitado de campo, no intensivo, del área mineralizada de Usagre, muy transformada por los recientes trabajos de restauración medioambiental realizados por la Junta de Extremadura, se observaron afloramientos superficiales de la mineralización, sin documentarse evidencias directas de explotación minera anterior a la Edad Moderna, aunque sí algún resto arqueológico prehistórico (fragmento de hacha pulimentada).

La mineralización se compone para, además de cinabrio, pirita, calcopirita, y esfalerita, junto con cuarzo y barita, habiendo autores que mencionan la presencia de galena (Calderón 1910: 207). La paragénesis, según Vázquez Guzmán (1983: 68), incluiría cinabrio, limonita, pirita, cuprita, covellina, cuarzo, calcita, y barita. La ley media se ha estimado en torno al 7% de Hg, con un 2% de Cu (Mapa Metalogénico de la Provincia de Badajoz, 2006).

Las muestras minerales seleccionadas de distintas zonas del área de mineralización de Usagre, analizadas también sin preparación previa mediante XRF, han ofrecido los siguientes resultados (Tabla 2):

Wt % (nd=no detectado)	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Hg
Usagre Mina Rampa	nd	10.55	32.93	0.13	2.09	0.02	nd	0.57	0.64	53.07
Usagre Mina Sultana	nd	61.17	23.97	nd	0.11	nd	nd	0.66	0.04	14.06
Usagre Mineral US1	7.40	35.04	31.49	1.22	10.26		0.22	1.60	0.01	12.75

Tabla 2. Resultados XRF de minerales de Usagre (Badajoz).

Los resultados de los minerales analizados de Usagre muestran altas concentraciones de cinabrio, con escaso contenido en hierro y la presencia de cobre (Cu), un elemento no detectado en el análisis de las muestras arqueológicas (Tabla 1).

En la provincia de Granada, en Las Alpujarras, se localiza otra de las áreas con mineralizaciones de mercurio del Sur peninsular, que fueron explotadas al menos desde la primera mitad del siglo XX d. C. (Calderón, 1910: 208). La zona mineralizada se extiende desde Cástaras hasta Tímar, en una faja de 4 km de longitud por 1 de anchura. La mena, impregnando calcita, estaría formada por cinabrio y la sucesión paragenética por cinabrio-galena-limonitas-hematites, indicándose que las leyes podrían llegar a entre 0.8 y 1.6% Hg en el área de Cástaras y del orden de 2.5 % en el área de Tímar y Juviles, aunque parece que nunca se superaron leyes de más de 0.5% Hg (Libro Blanco de la Minería Andaluza, 1986: 182-3).

En la visita realizada a la zona, centrada en los alrededores de las antiguas instalaciones metalúrgicas de los términos de Tímar y Cástaras, no se detectaron otras evidencias que las correspondientes a las numerosas labores mineras recientes. Las muestras minerales recogidas, seleccionadas en base a su coloración rojiza, fueron también analizadas por medio de XRF (Tabla 3).

De las muestras analizadas de la zona de Tímar y Cástaras sólo una de ellas mostró algún contenido de mercurio, confirmando la baja proporción de cinabrio de esta mineralización citada en la literatura geológica. La presencia de arsénico en todas las muestras supone un elemento diferenciador respecto a las otras mineralizaciones analizadas.

Wt %(nd=no det)	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	As	Sr	Hg
Tímar Cement.	11.03	21.35	nd	nd	31.65	1.40	0.12	32.29	nd	0.16	0.25	0.25
Tímar Cement.x	20.89	57.65	nd	4.91	0.45	0.49	0.05	15.17	0.13	0.26	nd	nd
Tímar Cruce.	16.77	62.60	nd	2.19	0.33	0.46	0.05	17.13	0.15	0.32	nd	nd
Cástara.	1.46	1.69	4.55	0.87	2.91	0.07	0.49	87.95	nd	3.48	nd	nd

Tabla 3. Resultados XRF de minerales de Tímar-Cástaras (Granada).

Solamente se citará, ya que no se han analizado muestras, que en la provincia de Almería, en la vertiente Norte de la Sierra de los Filabres, términos de Bayarque y Tíjola, se localiza otra de las zonas mineralizadas con cinabrio del sur peninsular. Explotadas a principios del siglo XX d. C., la mena se ha descrito como formada básicamente por una paragénesis de cinabrio-pirita-calcopirita-covellina y calcosina, que en la zona de oxidación daban lugar a la formación de malaquita y azurita, las especies más abundantes que, localmente, ayudaban a los mineros a la localización indirecta del cinabrio (Calderón 1910: 207-8; Libro Blanco de la Minería Andaluza 1986: 181-2).

Finalmente, la mayor concentración de cinabrio del Sur de la Península Ibérica se encuentra en Almadén (Ciudad Real). Más que de una mineralización, se trata de un distrito minero, compuesto por diversas mineralizaciones (Figura 3) que, en conjunto, conforman la mayor concentración del mundo de ese mineral de mercurio. Sin haberse analizado aún muestras en el ámbito de este proyecto, la paragénesis mineral es clasificada por algunos autores como simple, con cinabrio como mineral principal y pirita en cantidades menores; la calcopirita y la galena aparecen de forma esporádica y accesoria. Es importante mencionar que el distrito de Almadén muestra una historia geológica compleja, con mineralizaciones de diversas edades geológicas (Vázquez Guzmán 1983: 65-66).

Las más antiguas evidencias de la explotación del cinabrio de Almadén parecen remontarse al siglo VIII a. C. (Fernández Ochoa *et al.* 2002), mostrando los restos arqueológicos documentados una intensa explotación en época romana, como en los casos de los depósitos de Las Cuevas, El Entredicho, Nueva Concepción o Guadalperal

(Domergue 1987:62-65). Esta intensa explotación corroboraría las referencias de los autores clásicos (Plinio, XXXIII, 36).

V. DATOS DE ISÓTOPOS DE PLOMO

Para cumplimentar uno de los objetivos principales de esta investigación, que es determinar el origen de los minerales de mercurio utilizados como pigmentos en contextos prehistóricos, se ha recurrido a una metodología concreta, el análisis de Isótopos de Plomo.

En general, en su aplicación arqueológica y, en concreto, para la determinación de la procedencia de los recursos minerales metálicos, el análisis de Isótopos de Plomo es considerado un método contrastado (Hunt Ortiz 2003), que cuenta con un procedimiento de extracción y análisis bien establecido (Rohl y Needham 1998; Santos Zalduendi *et al.* 2004).

En este caso, para la definición de la composición isotópica de plomo de los depósitos minerales de cinabrio del Sur de la Península Ibérica se ha recurrido tanto a los datos isotópicos publicados por investigaciones de carácter geocronológico como al análisis de nuevas muestras de los depósitos mencionados de Usagre (Badajoz) y Tímar (Granada). Paralelamente, para establecer la relación isotópica con los depósitos minerales caracterizados isotópicamente, se han sometido a análisis de Isótopos de Plomo las muestras arqueológicas de pigmentos de cinabrio descritas de La Pijotilla y de el Dolmen de Montelirio.

Las muestras seleccionadas han sido analizadas en el Departamento de Geocronología de la Uni-

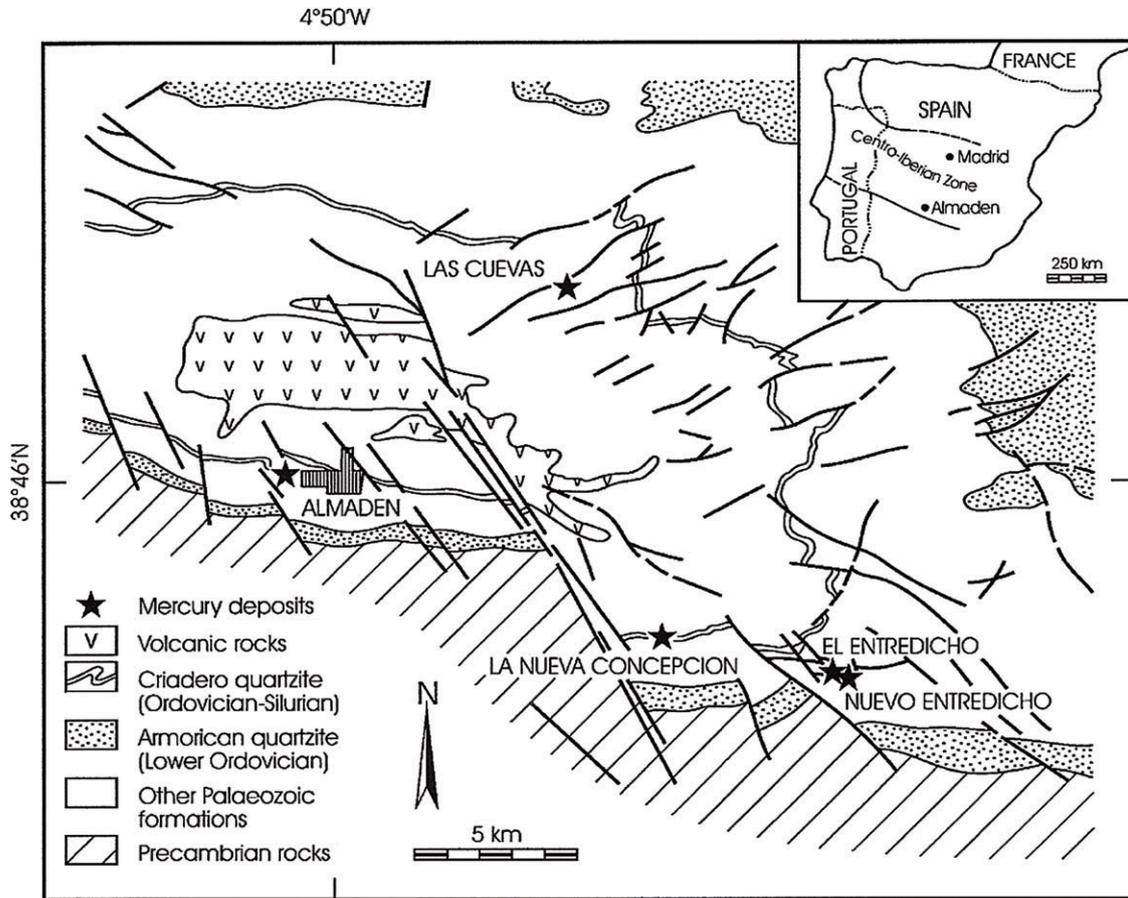


Fig. 3. Plano de las principales mineralizaciones del distrito de Almadén (según Jébrak *et al.* 2002).

versidad del País Vasco por medio de Espectrómetro de Masas con Fuente de Ionización Térmica (TIMS). Los resultados isotópicos son presentados en los ratios $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, usados convencionalmente en el campo arqueometalúrgico y, posteriormente, confrontados en los gráficos bivariantes $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ contra $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ contra $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ que representan los ratios de los 4 isótopos de plomo que definen la composición isotópica de cada una de las muestras (Hunt Ortiz 2003).

La mineralización más importante del Sur de la Península Ibérica y que actualmente ha proporcionado las evidencias más antiguas de explotación es el distrito de Almadén, en el Valle de Alcudia. Este distrito cuenta con una larga tradición de estudios de carácter geológico, que recientemente también han incluido los geo-cronológico mediante análisis de isótopos de plomo. Los datos isotópicos de plomo disponibles del distrito de Almadén corresponden concretamente a los depósi-

tos de Nuevo Entredicho (Jébrak *et al.* 2002), El Entredicho, Las Cuevas y Almadén (Higueras *et al.* 2005) (Tabla 4).

Valorando los datos isotópicos actualmente disponibles correspondientes a esos 4 depósitos del distrito de Almadén, mediante los dos gráficos bivariantes en los que se están representadas las composiciones isotópicas ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: Distrito Almadén y $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: Distrito Almadén (a): se visualiza la composición distinguible de cada uno de los depósitos representados (Figura 4).

Al confrontar los resultados isotópicos de Almadén con los de las otras dos mineralizaciones de cinabrio analizadas del Sur de la Península Ibérica, Usagre (Badajoz) y Tímar (Granada) y comparando con los resultados isotópicos de las muestras de pigmentos arqueológicos de cinabrio de La Pijotilla (BA) y Dolmen de Montelirio (SE), se pueden establecer interesantes relaciones (Figura 5).

Depósito	Sigla	Tipo	Pb208/Pb206	Pb207/Pb206	Pb206/Pb204
N. Entredicho	14	py+	2,10353	0,85838	18,352
N. Entredicho	15	py+	2,090619	0,84932	18,55
N. Entredicho	18	py+	2,099097	0,85652	18,386
N. Entredicho	22	py+	2,094118	0,85425	18,381
N. Entredicho	23	py+	2,090746	0,85198	18,458
Las Cuevas	LC-10	cinabrio	2,133557	0,86478	18,112
Almadén	ALMD-3	cinabrio	2,10325	0,84945	18,46
Entredicho	ETD-1	cinabrio	2,101487	0,85324	18,357
Entredicho	ETD-2	cinabrio	2,109438	0,85629	18,266

Tabla 4. Resultados isotópicos de minerales del distrito de Almadén (Ciudad Real) (según Jébrak *et al.* 2002; Higuera *et al.* 2005).

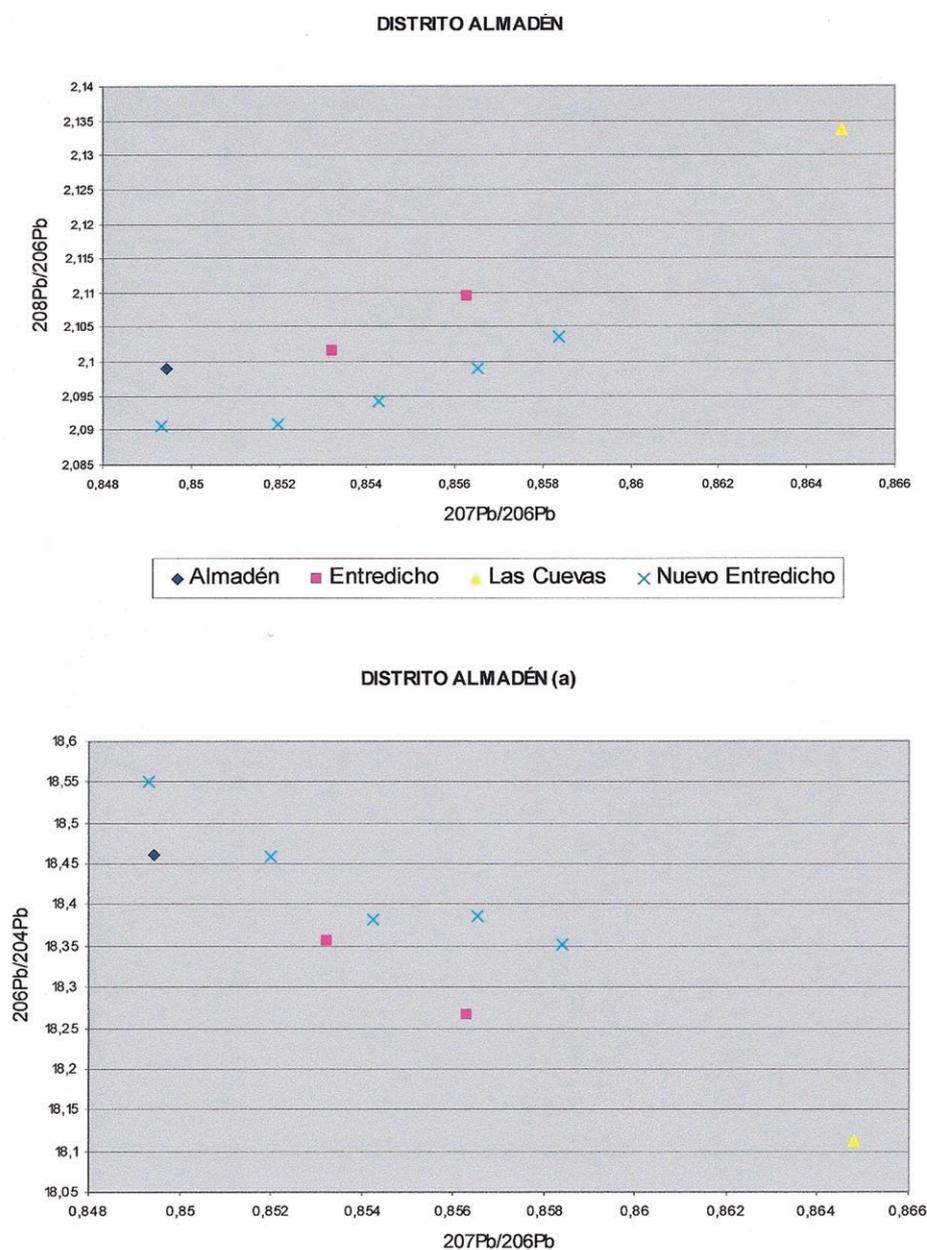


Fig. 4. Resultados isotópicos del distrito de Almadén.

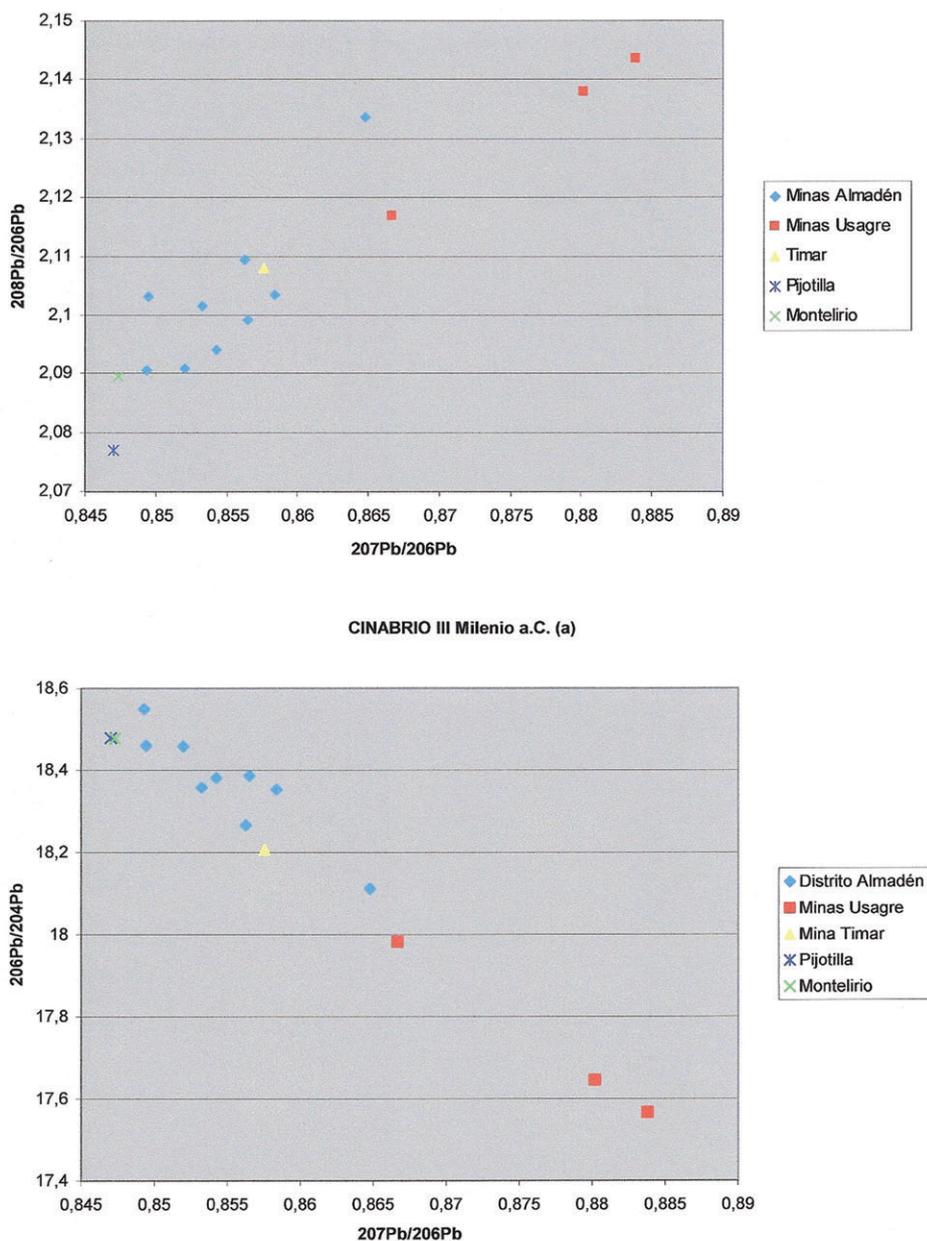


Fig. 5. Resultados isotópicos del distrito de Almadén confrontados con las mineralizaciones de cinabrio de Usagre (BA) y Tímar (GR) y las muestras de pigmentos arqueológicos de cinabrio de La Pijotilla (BA) y Dolmen de Montelirio (SE).

En primer lugar, en cuanto a las composiciones isotópicas de las mineralizaciones de cinabrio, en ambos gráficos bivariados ($207\text{Pb}/206\text{Pb}$ vs. $208\text{Pb}/206\text{Pb}$ y $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ vs. $206\text{Pb}/204\text{Pb}$: Cinabrio III Milenio a. C. a) se evidencia la composición distinguible de la composición isotópica del distrito de Almadén (Ciudad Real) respecto a la de la mineralización de cinabrio de Usagre (Badajoz). La composición de la mineralización de Tímar, con un contenido que la hace no apta para su uso como pigmento de mercurio, sería, de cualquier forma, también distinguible respecto a las otras dos mineralizaciones consideradas.

Al confrontar las composiciones isotópicas de las muestras arqueológicas de pigmentos entre sí y respecto a las mineralizaciones consideradas, se visualiza (Figura 5), respecto a lo primero, la composición similar de ambas muestras, prácticamente idéntica en el segundo de los gráficos bivariados ($207\text{Pb}/206\text{Pb}$ vs. $206\text{Pb}/204\text{Pb}$). Respecto a las mineralizaciones, la composición isotópica de las muestras arqueológicas no es consistente respecto a las mineralizaciones de Usagre y Tímar, siendo similares a las del distrito de Almadén.

VI. CONCLUSIONES

El registro arqueológico evidencia un uso extendido de pigmentos rojos en contextos funerarios tardo-neolíticos y calcolíticos. En esta investigación, la caracterización arqueométrica mediante XRF de los pigmentos rojos excavados en contextos funerarios Calcolíticos de La Pijotilla y del Dolmen de Montelirio ha confirmado la utilización, además de óxidos de hierro, de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS).

El número de depósitos minerales de cinabrio en la Península Ibérica es muy reducido, con localizaciones muy concretas en la zona meridional. Aun siendo esta investigación de carácter muy limitado e introductorio, el análisis composicional de las muestras minerales de los depósitos de cinabrio meridionales ha mostrado la posible existencia de elementos diferenciadores relevantes, como sería el caso del Cu en Usagre o del As en Tímar.

La detección de cinabrio en contextos arqueológicos alejados de los depósitos minerales permite, a priori, inferir la existencia de redes de abastecimiento de larga distancia de ese pigmento. La aplicación de la técnica analítica de Isótopos de Plomo a los depósitos minerales de cinabrio surpeninsulares ha puesto de manifiesto que sus campos

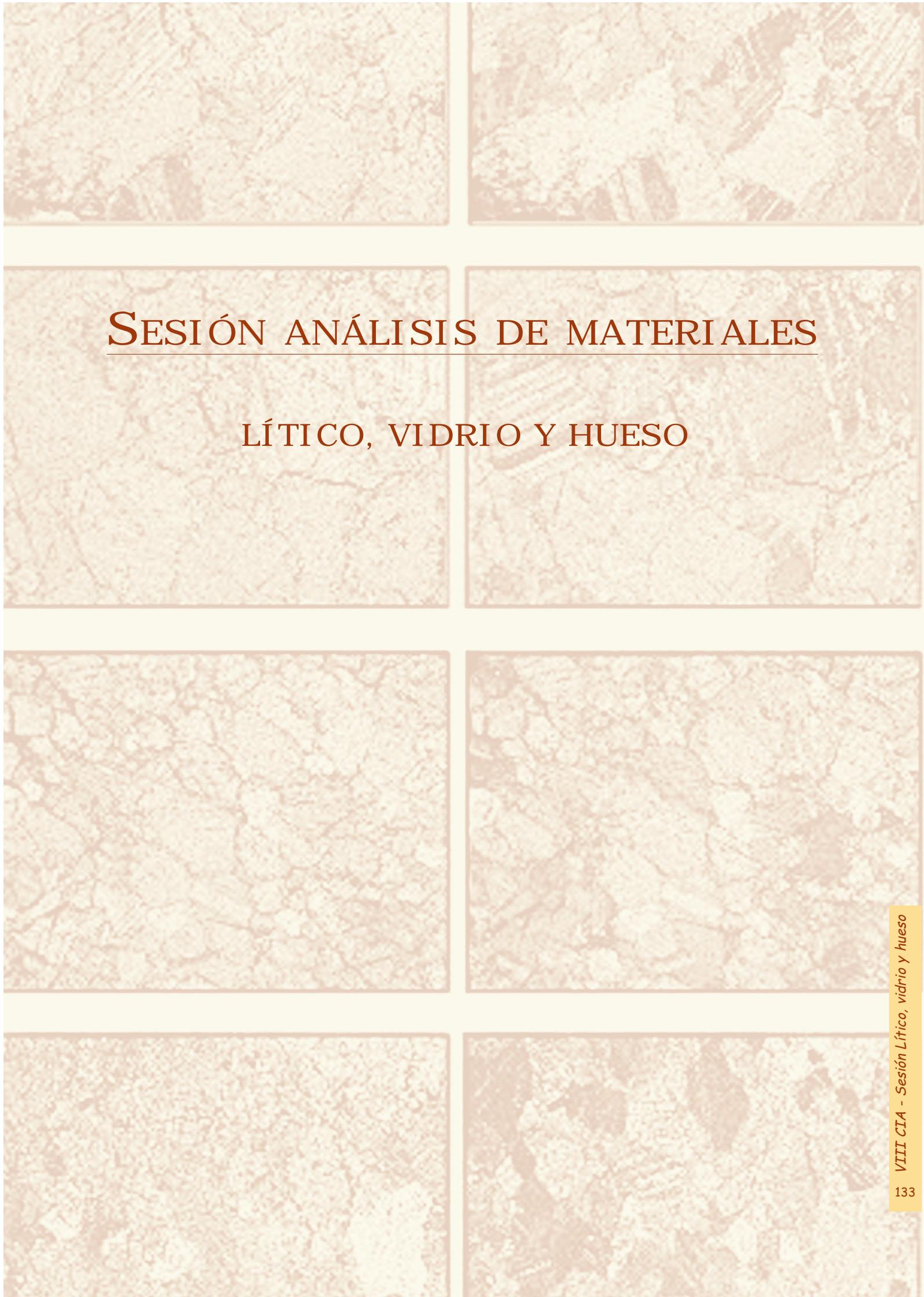
de composición isotópica son diferenciados, e incluso lo son los depósitos individuales que conforman el distrito de Almadén, aunque deber ser estudiado más ampliamente. Establecida la diferenciación isotópica entre los depósitos minerales de cinabrio, su confrontación con los resultados isotópicos de las muestras arqueológicas permite descartar la utilización de cinabrio de Usagre en los contextos arqueológicos considerados, siendo consistentes isotópicamente con el distrito de Almadén.

Así, en función de los resultados isotópicos disponibles actualmente, se puede concluir que el origen del cinabrio utilizado en los contextos arqueológicos funerarios calcolíticos de La Pijotilla (Badajoz) y del Dolmen de Montelirio (Castilleja de Guzmán, Sevilla) estaría en el distrito de minero de Almadén (Ciudad Real).

En general, aún teniendo en cuenta los limitados datos disponibles y la necesidad de caracterizar otras mineralizaciones peninsulares, la aplicación del método de Isótopos de Plomo al estudio de la procedencia de minerales de cinabrio de contextos prehistóricos ha resultado perfectamente adecuada, permitiendo la posibilidad de determinar la relación de las muestras arqueológicas con depósitos concretos de áreas mineralizadas específicas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIMEN, M. H. y STEVE, M. J. 1977: *Prehistoria*. Historia Universal Siglo XXI. Madrid.
- ALMARZA LÓPEZ, J.J. *et al.* 2008: "Investigaciones sobre recursos abióticos en la Prehistoria Reciente de Tierra de Barros y Sierra Morena Occidental". En S. Rovira Llorens; M. García-Heras; M. Gener Moret y I. Montero Ruiz (eds.): *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. CSIC: 42-51.
- CALDERÓN, S. 1910: *Los Minerales de España*. Tomo I.
- DOMÍNGUEZ BELLA, S. y MORATA CÉSPEDES, D. 1995: "Aplicación de las técnicas mineralógicas y petrológicas a la arqueometría. Estudio de materiales del dolmen de Alberite (Villamartín, Cádiz)". *Zephyrus*. Vol. XLVIII: 129-142.
- CABRERO GARCÍA, R.; RUIZ MORENO, M. T.; SABATÉ DÍAZ, I y CUADRADO MARTÍN, L.B. 1996: "Artefactos de tradición Neolítica en Sociedades Prehistóricas en la provincia de Sevilla: Cronología y Cambio Cultural". En *Actas del I Congreso del Neolítico a la Península Ibérica*. Gavá-Bellaterra. Vol. I: 191-200.
- CERDAN MARQUEZ, C.; LEISNER, G. y LEISNER, V. 1952: "Los Sepulcros Megalíticos de Huelva". *Informes y Memorias* 26. Ministerio de Educación Nacional. Madrid.
- FERNÁNDEZ OCHOA, C.; ZARZALEJOS PRIETO, M.; BURKHALTER THIÉBAUT, C.; HAVIA GÓMEZ, P. y ESTEBAN BORRAJO, G. 2002: "Arqueominería del Sector Central de Sierra Morena. Introducción al estudio del Área Sisaponense". *Anejos de Archivo Español de Arqueología* XXVI. CSIC, Madrid.
- HIGUERAS, P.; MUNHÁ, J.; OYARZUN, R.; TASSINARI, C.C.G. y RUIZ, I.R. 2005: "First lead isotopic data for cinnabar in the Almadén district (Spain): implications for the genesis of the mercury deposits". *Mineralium Deposita* 40: 115-122.
- HUNT ORTIZ, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South-West Iberian Peninsula*. BAR, International Series 1188. Archaeopress, Oxford.
- HURTADO PÉREZ, V. 1988: "Informe sobre las Campañas de Excavaciones en la Pijotilla (Badajoz)". *Extremadura Arqueológica* I: 35-54.
- HURTADO PÉREZ, V. 1999: "Los inicios de la complejización social y el campaniforme en Extremadura". *SPAL* 8: 47-83
- JOVANOVIĆ, B. 1978: "The Origins of Metallurgy in South-East and Central Europe and Problems of the Earliest Copper Mining". En M. Ryan (ed.): *The Origins of Metallurgy in Atlantic Europe*. Dublín: 335-343.
- JÉBRAK, M.; HIGUERAS, P.; MARCOUX, É. y LORENZO, S. 2002: "Geology and geochemistry of high-grade, volcanic rock-hosted, mercury mineralization in the Nuevo Entredicho deposit, Almadén district, Spain". *Mineralium Deposita* 37: 421-432
- LAZARICH GONZÁLEZ, M. 2007: *La Necrópolis de Paraje de Monte Bajo (Alcalá de los Gazules, Cádiz)*. Un acercamiento al conocimiento de las prácticas funerarias prehistóricas. Universidad de Cádiz.
- LIBRO BLANCO DE LA MINERÍA ANDALUZA 1986: Consejería de Economía y Fomento. Junta de Andalucía.
- MAPA METALOGENÉTICO DE LA PROVINCIA DE BADAJOZ 2006: Escala 1:200.000 Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General de Ordenación Industrial, Energía y Minas, Junta de Extremadura.
- MARTIN GIL, J.; MARTIN GIL, F.; DELIBES DE CASTRO, G.; ZAPATERO MAGDALENO, P. y SARABIA HERRERO, F.J. 1994: "Preserving the Ancients with Vermillion". *The Lancet* 344, nº 8939/8940: 1776-1777.
- MARTIN GIL, J.; MARTIN GIL, F.; DELIBES DE CASTRO, G.; ZAPATERO, P. y SARABIA, F.J. 1994a: "Neolítico. Uso del Cinabrio". *Investigación y Ciencia* 219: 29-30.
- MARTIN GIL, J.; MARTIN GIL, F.; DELIBES DE CASTRO, G.; ZAPATERO MAGDALENO, P. y SARABIA, F.J. 1995: "The First Known Use of Vermillion". *Experientia* 51: 759-61.
- MIOC, U.B.; COLOMBAN, P.H.; SAGON, G.; STOJANOVIC, M. y ROSIC, A. 2004: "Ochre decor and cinnabar residues in Neolithic pottery from Vinca, Serbia". *Journal of Raman Spectroscopy* 35, Issue 10: 843-846.
- OBERMAIER, H. 1919: *El Dolmen de Matarrubilla (Sevilla)*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas. Memoria nº 26. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- PLINIO 1984: *Natural History*. Vol. IX. Loeb Classical Library. Harvard University Press.
- ROHL, B.M. y NEEDHAM, S. 1998: *The Circulation of Metal in the British Bronze Age: The Application of Lead Isotope Analysis*. British Museum Occasional Paper 102.
- SANTOS ZALDUEGUI, J.F.; GARCÍA DE MADINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. y PALERO, F. 2004: "A lead isotope database: the Los Pedroches - Alcuñía area (Spain); Implications for archaeometallurgical connections across Southwestern and Southeastern Iberia". *Archaeometry* 46, 4: 625-634
- SHEPHERD, R. 1980: *Prehistoric Mining and Allied Industries*. Academic Press, Londres.
- STOS-GALE, Z.A.; HUNT, M. y GALE, N.H. 1999: "Análisis elemental de isótopos de plomo de objetos metálicos de Gatas". En P. Castro *et al.* (eds.): *Proyecto Gatas 2. La dinámica arqueoecológica de la ocupación prehistórica*. Arqueología Monografías 4, Junta de Andalucía, Sevilla: 347-358.
- TORNOS, F. y LOCUTURA, J. 1989: "Mineralizaciones Epitermales de Hg en Ossa Morena (Usagre, Badajoz)". *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*: 363-374.
- VARGAS JIMÉNEZ, J. M. 2004: *El yacimiento prehistórico de Valencina de la Concepción (Sevilla)*. Ayuntamiento de Valencina de la Concepción.
- VÁZQUEZ GUZMÁN, F. 1983: *Depósitos Minerales de España*. IGME.
- WAGNER, G.A. y WEISBERGER, G. 1988: *Antike Edel-und Buntmetallgewinnung auf Thasos*. Der Anschnitt, 6. Bochum.

The background of the slide is a grid of ten microscopic images showing various material textures. The top row shows two images with fibrous and granular structures. The middle row contains the title text. The bottom two rows each contain two images showing different surface morphologies, including cracked and porous structures.

SESIÓN ANÁLISIS DE MATERIALES

LÍTICO, VIDRIO Y HUESO

CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE DE VARISCITA DE PICO CENTENO (ENCINASOLA, HUELVA) Y ESTUDIO DE PROCEDENCIA DE CUENTAS DEL SUROESTE PENINSULAR

SOURCE CHARACTERIZATION VARISCITE OF PICO CENTENO (ENCINASOLA, HUELVA) AND STUDY OF ORIGIN OF THE SOUTHWEST PENINSULAR ACCOUNTS

Carlos P. Odriozola Lloret (1) / Jose Antonio Linares Catela (2) / Victor Hurtado Pérez

(1) Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC

(2) Cota Cero GPH S.L.

RESUMEN: En este trabajo estudiamos la explotación e intercambio de variscita de Pico Centeno (Encinasola, Huelva). El análisis XRD y XRF del mineral recogido en Pico Centeno durante las prospecciones arqueológicas proporcionan una impronta físico-química para cada una de las sub-fuentes localizadas durante la prospección. Estas improntas serán comparadas con otras fuentes europeas y con 50 cuentas procedentes de 8 tumbas megalíticas de dos regiones diferentes para comprobar modelos de distribución y procedencia.

El mineral recuperado durante las prospecciones de Pico Centeno es variscita, mientras que las cuentas resultaron ser de minerales diversos (moscovita, talco, clorita). A la hora de comprobar la procedencia a través de la composición química encontramos que la alta variabilidad natural de los elementos traza (tradicionalmente considerados indicadores del origen) no permiten establecer la procedencia de las cuentas. Contrariamente pensamos que diferentes proporciones de fosfatos resultado de la génesis de la roca y que resultan en un cociente P/Al diferente de 1, podría ser utilizado como indicador del origen. Cocientes P/Al mayores de 1 no han sido descritos para ninguna otra fuente en Europa.

SUMMARY: In this paper we discuss the exploitation and exchange of variscite at Pico Centeno source. XRF and XRD analyses of the mineral recovered at Pico Centeno mining district during archaeological survey provides a baseline mineral signature for the source and sub-sources, which were then compared to other sources and to 50 green beads from 8 megalithic tombs from two different regions, in order to test 'provenance postulate' and distribution models.

Mineral sampled during survey at Pico Centeno mining district turned out to be pure variscite phases, while extremely varied for the studied green beads: variscite, muscovite, talc or chlorite. We found that the concentrations of trace elements don not allow us to establish the origin of the beads, as traditionally claimed, due to the strong natural variability on minor and trace elements of the sources. Instead we found that different proportions of phosphate species, which results in P/Al ratios higher than 1, arose during the genesis of the variscite deposits. Thus, the P/Al atomic ratio should be an indication of provenance as it is established during mineral genesis. This issue has not been addressed in any of the other studied sources where this ratio seems to be ≈ 1 .

PALABRAS CLAVE: Variscita, Procedencia, Edad del Cobre, Iberia, XRF, XRD.

KEY WORDS: Variscite, Provenance, Cooper Age, Iberia, XRF, XRD.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la Prehistoria Reciente la variscita fue explotada principalmente para producir cuentas de collar, de pulseras, de pendientes, ... Generalmente aparecen en monumentos megalíticos con cronologías que van desde el Neolítico hasta la Edad de Bronce por toda Europa. Esta asociación recurrente megalitismo-variscita trajo al pano-

rama arqueológico la idea de que en la Europa Prehistórica estas cuentas verdes eran intercambiadas a través de circuitos de larga distancia. En concreto, se pensó que existía un circuito que unía el golfo de Morbihan (Bretaña francesa) con el afloramiento de Palazuelos (Aliste, Zamora) que por aquel entonces (mediados de los años 70) era la única fuente de variscita conocida en Europa (Arribas *et al.* 1971). Tras los posteriores descu-

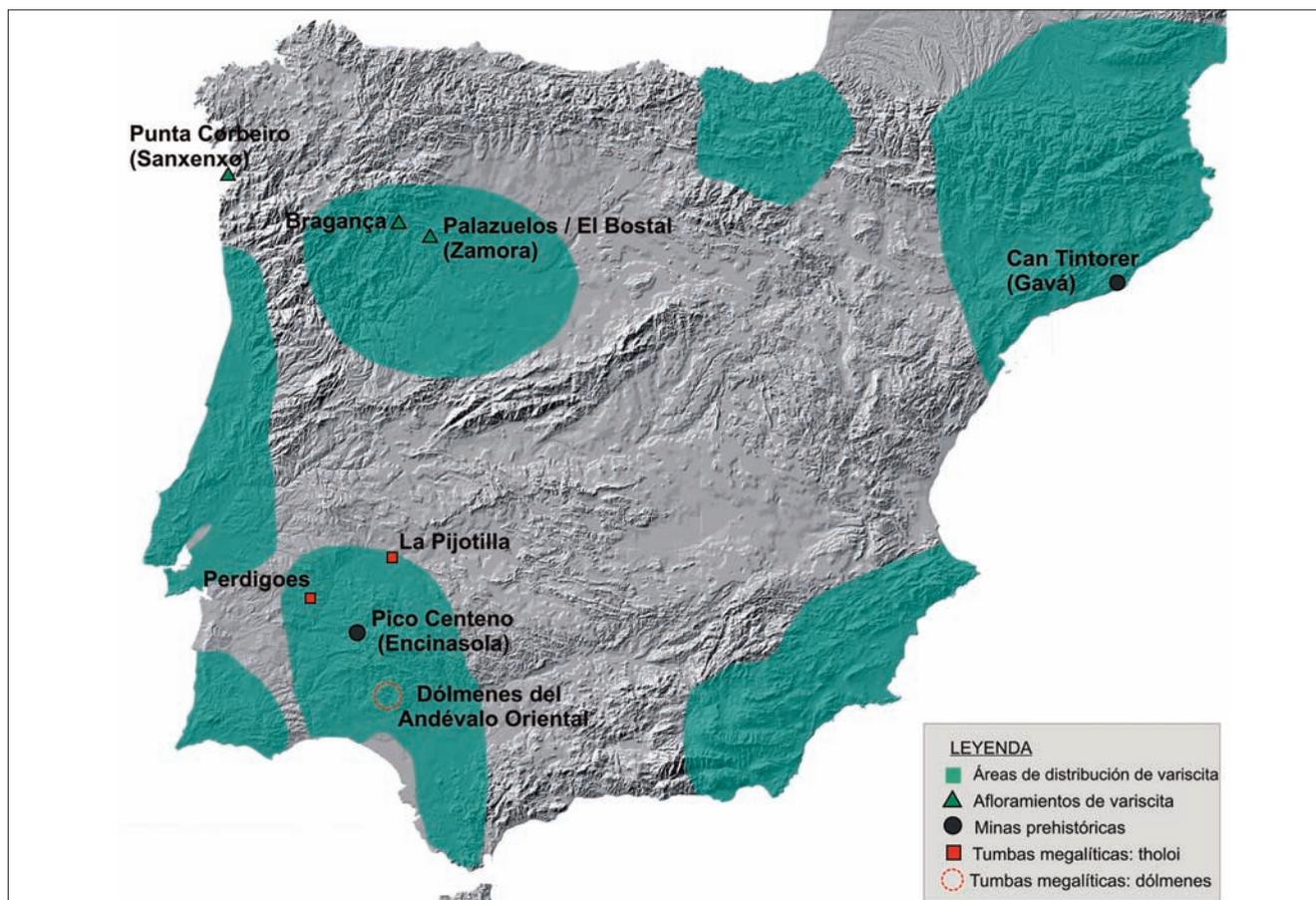


Fig. 1. Ubicación de las fuentes de variscita ibéricas y su área de distribución.

brimientos de Pannacé (Loire-Atlantique, Francia) y más tardé Can Tintorer (Gavá, Barcelona) se reabrió el debate acerca de los orígenes de la variscita en Europa, su producción y distribución. Desde entonces, se viene realizando un esfuerzo enorme para localizar y caracterizar fuentes de variscita, de las que actualmente no se conocen más de 9 en Europa Occidental.

El objetivo de este trabajo es caracterizar físico-químicamente la fuente de variscita de Pico Centeno (Encinasola, Huelva) (Figura 1), para así, poder establecer, a través de la comparación de estas características (incluyendo los resultados de otros autores sobre las fuentes de Palazuelos de la Cueva y Can Tintorer), la procedencia de 50 cuentas procedentes de 8 megalitos de 2 regiones distintas. Para ellos debemos tener en mente que, tras la idea de fuente/origen subyace que las diferencias en la composición química entre diferentes fuentes naturales debe exceder, de forma alguna, a las diferencias observadas en la fuente, tal y como dicta el

postulado de la procedencia (Weigand *et al.* 1977).

Uno de los primeros problemas que afloran al trabajar con minas de variscita es la variabilidad natural inherente al depósito y que en casos como el de Can Tintorer ha dado más de un quebradero de cabeza a sus investigadores a la hora de determinar el origen de las cuentas catalanas y francesas, dado que la variabilidad natural de este afloramiento es muy elevada, existiendo grandes diferencias composicionales y mineralógicas entre las fases monominerales (variscita) y poliminerales (estregita/variscita) (Edo *et al.* 1995).

A la hora de realizar este estudio debemos tener presente que tan sólo se conocen algunos indicios de explotación prehistórica en Pico Centeno (Linares Catela 1999, 2000; Nocete y Linares 1999) y que no se ha realizado estudio alguno sobre la variabilidad natural de ésta. Hay que tener en cuenta que la suma de la variabilidad natural y de la varianza debida al error experimental y de

muestreo debe ser suficientemente pequeña como para que no se produzca un solapamiento entre la distribución de los elementos que se usen para discriminar entre fuentes (Weigand *et al.* 1977).

II. LA VARISCITA

La variscita es un aluminofosfato hidratado con una frecuencia de aparición natural muy baja. El grupo mineral de la variscita son fosfatos ortorrómbicos cuya fórmula general es $[MPO_4 \cdot 2H_2O]$, donde $M = Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, \dots$. La variscita es un mineral secundario que se forma por la deposición directa de aguas subterráneas fosfatadas al descender a lo largo de fisuras y al reaccionar con rocas ricas en aluminio (Larsen 1942). Generalmente ocurre en forma masiva, en nódulos, rellenando cavidades y en concreciones en rocas arcillosas y especialmente en las pizarras. Las fases puras son blancas y transparentes, pero su color varía de tonalidades amarillas a verdes, aunque el color típico de las masivas es verde turquesa con brillo cerúleo. De cualquier forma el color depende de su proceso de formación y la presencia de elementos distintos del P y el Al, tales como el cromo (Cr^{3+}) y el vanadio (V^{4+}), que son en definitiva los responsables del color de la variscita (Calas *et al.* 2005).

La variscita se conoce también como calaita desde que Plinio (Historia Natural XXXVIII) introdujera el término para referirse a todas las piedras verdes con brillo. El uso y abuso del término calaita hasta mediados de la década de los años 90 ha traído cierta confusión a la literatura arqueológica y a ciertas asunciones generalizadas tales como: I- que las calaitas estaban siendo intercambiadas por toda Europa; II- que todas las piedras verdes eran variscita, y III- que consecuentemente debían proceder de alguna de las fuentes conocidas. Desde mediados de la década de los años 70 el término calaita ha recibido tremendas críticas cuando se usa aludiendo a las cuentas de collar de variscita (Dominguez Bella 2004), a pesar de lo cual no ha sido hasta estudios relativamente recientes (Edo *et al.* 1995; Pozo *et al.* 2002; Villalba 2002; Querré *et al.* 2007, 2008) cuando se ha demostrado que no todas las rocas verdes o azul verdosas utilizadas para la elaboración de cuentas de collar estaban hechas con variscita y que el apro-

visionamiento de materias primas es mucho más variado de lo esperado, i.e. estregita, moscovita, clorita, sericita, talco, turquesa, ...

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo expondremos sucintamente los datos de las prospecciones arqueológicas llevadas a cabo en Pico Centeno y sus alrededores y discutiremos los resultados del análisis mineralógico (XRD) y composicional (μ -XRF) realizados sobre las muestras geológicas recogidas durante las prospecciones y de las cuentas de collar del **Guadiana Medio**: *tholois* 1 y 2 de Perdigões (Valera *et al.* 2002), la tumba 3 de La Pijotilla (Hurtado 1986, 1991) y del **Andévalo Oriental**: Dolmen 4 de Los Gabrieles (Linares Catela 2006, 2010), Dólmenes de Puerto de los Huertos, Casullo y Mascotejo de El Gallego-Hornueco (Linares Catela 2010) y, finalmente, el Dolmen 2 de Pozuelo (Cerdán *et al.* 1952). Las 50 muestras de variscita tomadas durante las prospecciones junto con las cuentas de collar fueron analizadas por procedimientos no destructivos con una microsonda de XRF EDAX Eagle III y con un difractor Siemens D5000 equipado con un juego de cristales Goebbels.

Los diagramas se obtuvieron usando un difractor $\theta/2\theta$ Siemens D5000 con radiación $Cu K\alpha$ operado a 50 kV y 35 mA. Se utilizó un juego de espejos Goebbels conjuntamente con un haz paralelo. Los diagramas se tomaron con un paso de $0.02^\circ 2\theta$ entre 3° y $65^\circ 2\theta$ con un tiempo de recuento de 10 s por paso a temperatura ambiente.

Los datos composicionales se obtuvieron tras enfocar directamente sobre la muestra un área de 100 μm con un microscopio óptico. El área seleccionada se analiza utilizando la radiación $K\alpha$ producida por un tubo de Rh operado a 40 kV.

Se han analizado un total de 50 muestras geológicas, cada muestra ha sido dividida en 5 alícuotas. A cada alícuota se le han realizado un total de 5 medidas, de tal forma que los datos aquí expuestos son la media de 5 análisis por cada alícuota. Este exhaustivo análisis tiene como objetivo medir la variabilidad natural de Pico Centeno y de las diferentes sub-fuentes localizadas durante la pros-

pección. Por otra parte hemos analizado un total de 50 cuentas de collar procedentes de 8 monumentos funerarios de regiones y tipologías distintas con el objetivo de verificar los modelos de distribución.

Las cuentas de los *tholois* de Perdigões han sido sometidas a un muestreo aleatorio, donde el único criterio de selección fue cubrir todas las tipologías de cuentas apreciadas de entre las más de 3000 cuentas recuperadas en cada tholos. Por su parte en La Pijotilla se han analizado las 3 únicas cuentas, de las más de 500 recuperadas en la tumba 3, que eran de color verde. Las cuentas procedentes del Andévalo Oriental han sido analizadas en su totalidad.

Existen diferencias a resaltar entre ambas

regiones en estudio ya que por un lado los megali-tos del Guadiana Medio son de tipo tholos mientras que los del Andévalo Oriental son de tipo dolménico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la prospección se localizaron fuentes y evidencias de actividad humana asociada a la explotación de variscita en el Cerro de Pico Centeno y a lo largo de las formaciones silúricas del sinforme de Terena (N120E) hasta la frontera con Portugal. Tras estas prospecciones se llevó a cabo un muestreo de los afloramientos y minas donde se detectó actividad minera así como de aquellos afloramientos sin actividad humana evidente, haciendo hincapié en muestrear tanto las variscitas

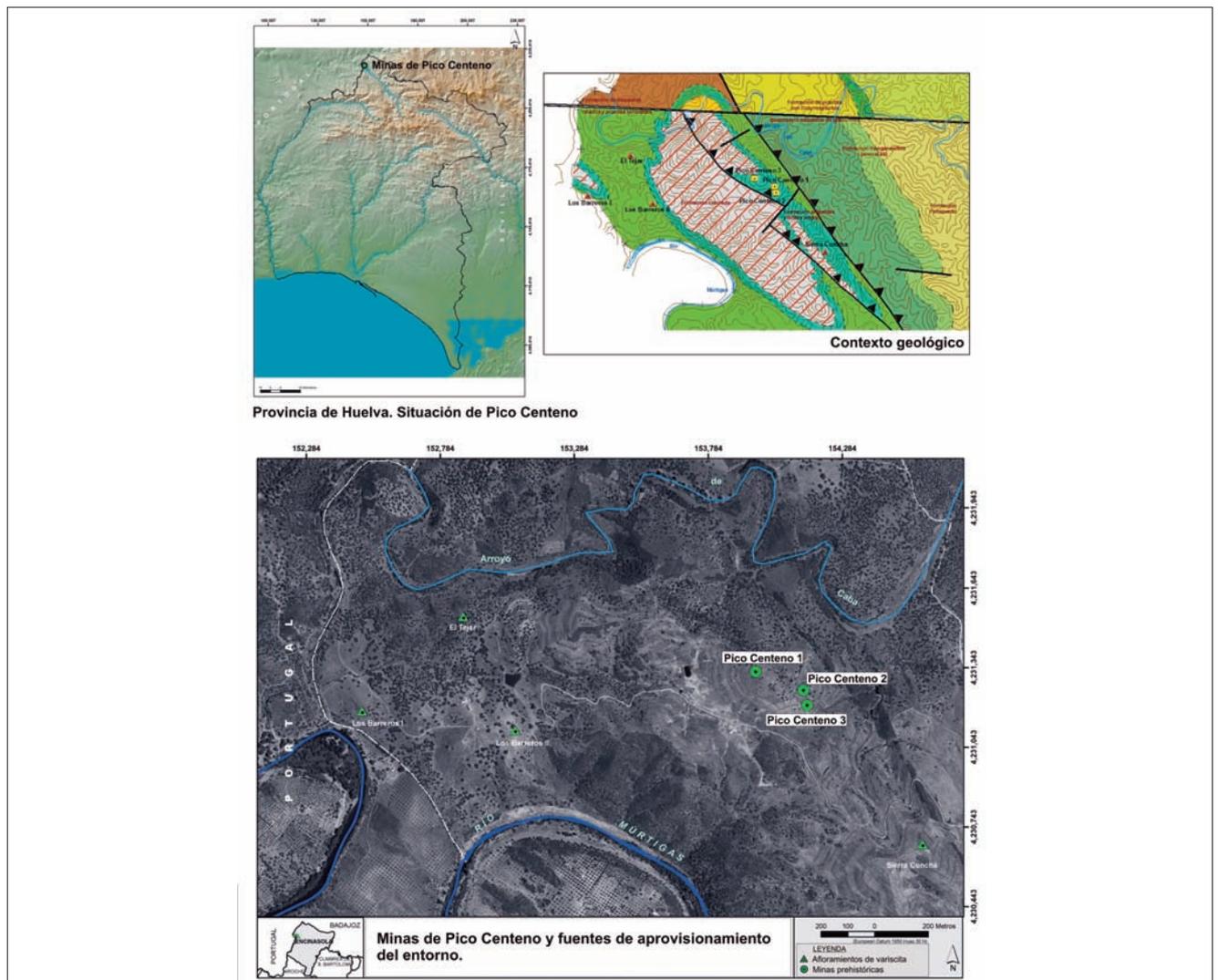


Fig. 2. A) Fotografía de PCM2. B) Micro topografía de PCM2. C) Mazas de minero recuperadas en PCM2. D) Muestra de variscita de PCM2.



Fig. 3. A) Mapa indicando la ubicación de Pico Centeno en la provincia de Huelva. B) Mapa geológico de Encinasola (Huelva) con indicación de las sub-fuentes localizadas durante las prospecciones. C) Orto fotografía de la región de Pico Centeno con indicación de las sub-fuentes y trincheras localizadas en la prospección.

filonianas como masivas (Moro Benito *et al.* 1992, 1995). Centrándonos especialmente en muestrear los restos de talla y residuos de producción hallados en los vacíos de las minas, así como en muestrear los frentes de explotación, aunque también se tomaron muestras de variscitas sin relación directa con la actividad humana y que se encontraban dispersas por el Cerro. Se muestrearon no sólo las minas y afloramientos explotados sino también aquellos afloramientos que no tienen evidencias de explotación, con el objetivo de examinar la variabilidad natural de la fuente.

Entre las evidencias de minería prehistórica detectadas en Pico Centeno, destacan 3 minas de trinchera de clara tipología prehistórica (Craddock 1993, 1995), dos en la ladera SE (PCM1 y PCM2) y una tercera en la ladera NW (PCM3) (Figura 1). La trinchera PCM1 se compone de dos trincheras pa-

ralelas en forma de U que acaba en un frente de explotación. Sus dimensiones son de 10x6x1.75 m. La mina PCM2 es una trinchera larga de unos 18.5x8.5x 3 m. Por su parte la mina PCM3 se trata de otra trinchera de dimensiones y forma similar a la PCM2. Asociado a cada una de estas tres trincheras se han localizado los respectivos vacíos y numerosas mazas de minero, picos y cuñas de tipología prehistórica, además de restos de talla, nódulos y lascas (Figura 2).

El resto de afloramientos localizados durante las prospecciones (Figura 3) presentan escasas evidencias de explotación minera prehistórica, representadas por pequeñas escombreras y mazas de minero fragmentadas.

La caracterización mineralógica de las minas (PCM1, PCM2 y PCM3), de las explotaciones de Sie-

rra Concha y del afloramiento de El Tejar muestran, tal y como es posible observar en la Figura 4, que las rocas verdes explotadas de todos estos sitios es variscita. Los diagramas de PCM1, PCM2 y PCM3 indican que el mineral es variscita ortorrómbica criptocrystalina del tipo M (ICDD 25-18). Nuestros análisis concuerdan con los estudios geológicos previos realizados en el área (Moro Benito *et al.* 1992).

El diagrama de difracción de nuestras muestras coincide plenamente con la ficha 25-18 de la variscita de Zamora (Salvador and Fayos 1972), mientras que por el contrario en la ficha 33-33 de una muestra de variscita de Utah los picos están ligeramente desplazados hacia ángulos mayores, lo que puede deberse a una mayor pureza del mineral y a la presencia de sustituciones de Fe, Cr, Ni, ... en las variscitas de Zamora y Pico Centeno (Arribas *et al.* 1971; Salvador and Fayos 1972; Moro Benito *et al.* 1992, 1995).

En Pico Centeno se pueden encontrar nódulos

de variscita masiva dispersas por el cerro, los vacíos, los frentes de explotación, ... Todas las muestras estudiadas aquí son variscitas monominerales masivas tal y como se observa a través de XRD, sin haberse detectado fases poliminerales de la variscita, aunque el alto contenido en Fe de algunas muestras hace sospechar que algunas muestras pueden tener sustituciones de Fe y ser una mezcla de variscita y estregita tal y como ha sido mencionado por otros autores (Moro Benito *et al.* 1992, 1995).

Casi todas las cuentas de collar verdes de los *tholois* 1 y 2 de Perdigões concuerdan con la ficha 25-18 tal y como puede apreciarse en la Figura 4. Tan sólo 3 cuentas no coinciden con la ficha 25-18, habiendon sido identificadas como moscovita (ICDD 6-263).

Por su parte las cuentas de collar de La Pijotilla están realizadas en 2 de los casos en variscita mientras que el tercer caso está realizado en moscovita. En el Andévalo Oriental no se utiliza variscita.

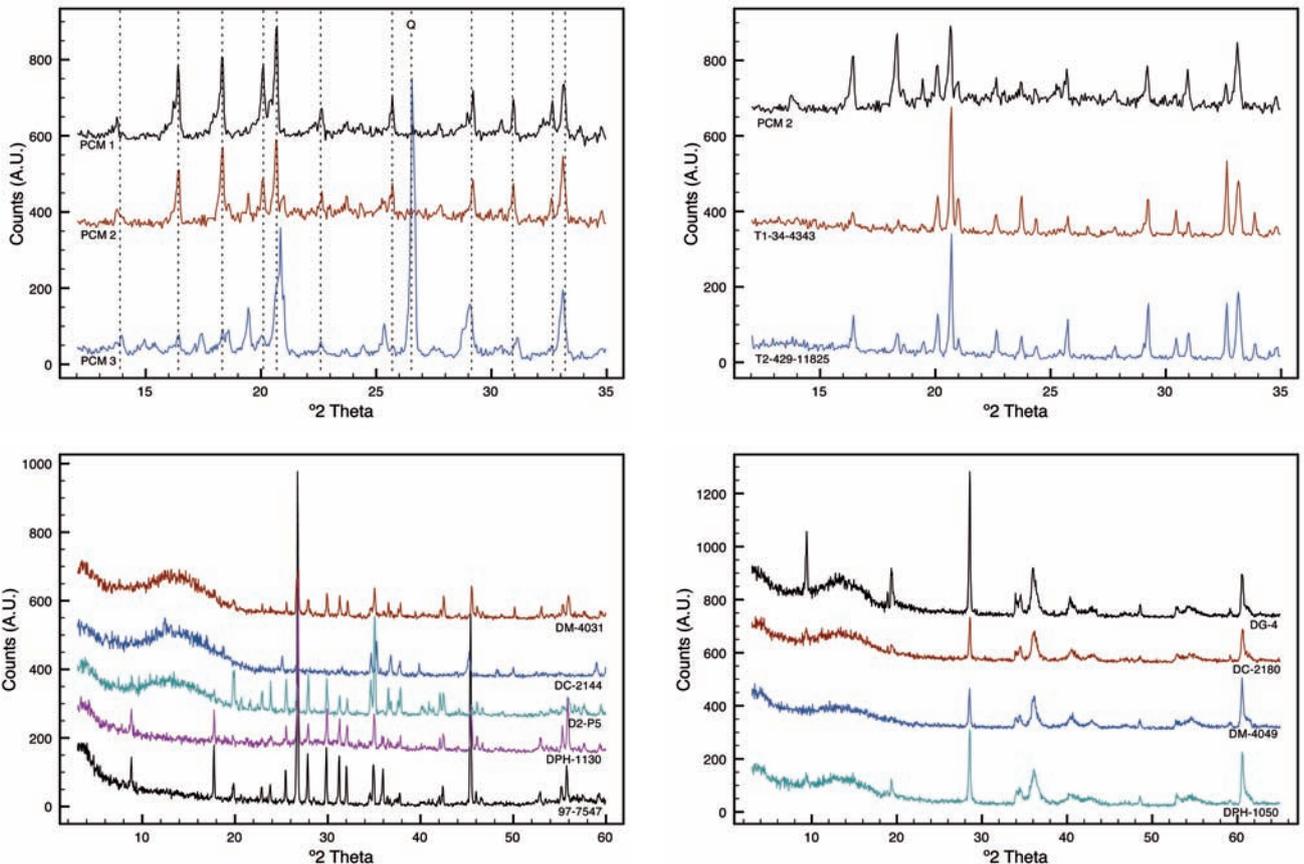


Fig. 4. Diagramas XRD de las trincheras de Pico Centeno (arriba izqda.) y muestras de los *tholois* 1 y 2 de Perdigões comparados con PCM2 (arriba dcha.). Diagrama XRD del Andévalo Oriental (abajo izqda.) cuentas de moscovita y (abajo dcha.) cuentas de talco.

ID	Site	XRD	ID	Site	XRD
DP-2	Pozuelo	Moscovita	4348	T1 Perdigões	Muscovita
DG-4	Gabrieles	Talc.	4343	T1 Perdigões	Variscita
DC-2144	Casullo	Moscovita	7163	T1 Perdigões	Variscita
DC-2180	Casullo	Talco	7289	T1 Perdigões	Variscita
DM-4016	Mascotejo	Talco	7547	T1 Perdigões	Variscita
DM-4031	Mascotejo	Variscita	7784	T1 Perdigões	Variscita
DM-4049	Mascotejo	Talco	7816	T1 Perdigões	Variscita
DPH-1050	Puerto Huertos	Talco	7942	T1 Perdigões	Variscita
DPH-1057	Puerto Huertos	Moscovita	7944	T1 Perdigões	Variscita
DPH-1067	Puerto Huertos	Moscovita	7906	T1 Perdigões	Variscita
DPH-1076	Puerto Huertos	Talco	11825	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1082	Puerto Huertos	Moscovita	11821	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1102	Puerto Huertos	Talco	11822	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1108	Puerto Huertos	Clorita	11823	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1119	Puerto Huertos	Talco	11827	T2 Perdigões	Muscovita
DPH-1130	Puerto Huertos	Moscovita	11835	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1154	Puerto Huertos	Moscovita	11824	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1159	Puerto Huertos	Moscovita	11826	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1164	Puerto Huertos	Moscovita	11838	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1165	Puerto Huertos	Moscovita	11839	T2 Perdigões	Variscita
DPH-1175	Puerto Huertos	Moscovita	P1	T3 Pijotilla	Variscita
DPH-1177	Puerto Huertos	Moscovita	P2	T3 Pijotilla	Variscita
DPH-1184	Puerto Huertos	Moscovita	P3	T3 Pijotilla	Moscovita
DPH-1238	Puerto Huertos	Talco			

Tabla 1. Fases minerales identificadas en las muestras estudiadas.

cita en la producción de cuentas de collar, siendo la elección técnica de esta área las llamadas “*pedras jabón*” (talco, moscovita y clorita). De las 25 cuentas analizadas (Tabla 1: 9 cuentas han sido realizadas en talco (ICDD 19-770), 13 en moscovita y 2 en clorita (ICDD 1-73-2376).

Una vez asegurado que estamos tratando con muestras de variscita se retoma el análisis de la procedencia para intentar ver si las muestras de las trincheras se agrupan, o si las cuentas de collar tienen composiciones químicas similares, si es posible asociarlas a alguna de las trincheras y si es posible distinguir entre las trincheras y los afloramientos.

El análisis de diferentes muestras tomadas de una misma trinchera muestra que existe una considerable variación en la concentración en elementos minoritarios y traza, presentando coeficientes de

variación (CV) tan elevados como el del Cr con 1,7. En la tabla 2 se muestra un resumen de las medias, desviaciones estándar y CV para los elementos mayoritarios y las sustituciones metálicas así como para aquellos elementos que han sido propuestos como responsables del color (Calas *et al.* 2005) y como discriminante entre fuentes (Querré *et al.* 2007, 2008). Es posible apreciar en la Tabla 2 cómo los valores del Cr y V de las fuentes Ibéricas y francesa de variscita presentan valores solapados.

El análisis repetitivo de una misma muestra (M1-1 y M3-1) evidencia que la composición elemental dista mucho de ser homogénea exhibiendo una gran variabilidad, tal y como evidencian CV tan elevados como 0,87 (Fe_2O_3), 0,62 (V: ó 0,91 (Cr). Estos CV desaconsejan el uso de estos elementos y sus correlaciones como un indicador de procedencia debido a su alta variabilidad natural.

El muestreo al que han sido sometidas las trincheras y los afloramientos ha sido suficientemente exhaustivo como para hacerse buena idea de la variabilidad natural, al menos en los casos de las trincheras PCM1, PCM2 y PCM3 de las que se han analizado 36 muestras. Ha quedado, por tanto, suficientemente claro que la variabilidad natural en cada trinchera es mayor que las variaciones que se pueden detectar entre cada trinchera siendo imposible discriminar entre las trincheras, pero sí entre éstas, los afloramientos de Sierra Concha y El Tejar y las fuentes estudiadas por otros autores (ver Edo *et al.* 1995).

Recientemente se han publicado los resultados del análisis de las cuentas de collar de la región de Morbihan (Francia) y su similitud estadística con la composición química de la variscita de Can Tintorer y Pico Centeno (Querré *et al.* 2007, 2008). El éxito a la hora de discriminar entre fuentes se debe a la característica composición elemental en elementos traza (esencialmente Cr y V) que según los autores son una huella dactilar de cada fuente, mientras que la relación entre las fuentes y las cuentas de collar ha sido establecida a través de un análisis cluster. Sobre la base de nuestra propia experiencia, no creemos que en general se pueda llegar a una identificación de la fuente de esta forma ya que tal y como hemos mencionado con anterioridad la variación de la concentración de los elementos minoritarios y traza en cada fuente puede ser tremendamente elevada.

La variabilidad natural de las fuentes juega un papel importantísimo en el análisis de la procedencia de las cuentas de collar y acaba por convertirse en una barrera a la hora de interpretar la procedencia, ya que resulta extremadamente difícil diferenciar entre las fuentes europeas.

La fórmula ideal de la variscita es $[\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ lo que significa que el cociente atómico P/Al debe ser igual a 1, aunque las sustituciones de Al por otros iones trivalentes de transición (Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , ...) pueden hacer incrementar ligeramente este cociente. En la mayoría de los estudios sobre variscita se cumple que el cociente atómico P/Al es 1, pero no en nuestro caso donde éste es muy superior a 1 estando alrededor de 1,7. A pesar de este cociente tan elevado los datos de

XRD confirman inequívocamente que estamos tratando con variscita del tipo M. Sin embargo, el cociente en el afloramiento de El Tejar está más próximo al valor esperado para fases puras de variscitas estequiométricas, con una composición química igual a la ideal representada por la fórmula $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, lo que coincide con los datos aportados por otros autores (Moro Benito *et al.* 1992).

Sin embargo, si consideramos la posibilidad de que se estén produciendo sustituciones de Al por otros metales de transición el cociente P/M, donde M es la suma de los porcentajes atómicos del Al y el resto de metales de transición, sigue siendo mucho mayor que 1. Esto podría deberse a que nuestra técnica analítica no está midiendo elementos tales como el Na o el Li, pero tal y como muestran otros estudios que utilizan LA-ICP-MS (Edo *et al.* 1990, 1998; Camprubi *et al.* 1994; Blanco Majado *et al.* 1995; Rojo Guerra *et al.* 1995; Dominguez Bella 2004), PIXE (Querré *et al.* 2007, 2008) o XRF/OES (Edo *et al.* 1990; Villalba *et al.* 1991) el Li no está presente en las variscitas y el Na₂O lo está a nivel de traza y con una concentración por debajo del 0,01%, por lo que el problema del cociente P/Al no parece estar relacionado con la técnica analítica y sí con la génesis de la roca.

La presencia de aniones hidrogenofosfato en los minerales del grupo de la variscita ha sido propuesta por Frost (2004), el cual, basándose en un modelo previo demuestran a través de espectroscopía Raman la presencia de múltiples especies aniónicas de fosfatos que incluyen mono-hidrogenofosfato y dihidrogenofostato en los minerales del grupo de la variscita. La presencia de hidrogenofosfato en la variscita tendría como resultado cocientes atómicos P/Al superiores a 1, dependiendo del valor exacto del cociente en la proporción de las diferentes especies de hidrogenofosfatos presentes en el mineral. Estudios anteriores habían determinado la existencia de dihidrogenofosfato en la génesis de variscita (Hsu 1982).

El problema del cociente atómico P/Al registrado en las variscitas de Pico Centeno y en las cuentas de collar del Guadiana Medio, podría por tanto deberse a la particular génesis de los depósitos de variscita de Pico Centeno, que está indudablemente asociada al pH y la naturaleza de la

ID	Al ₂ O ₃			P ₂ O ₅			Fe ₂ O ₃			V			Cr			N
	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV	
PCM1	26,99	1,73	0,06	66,10	4,08	0,06	6,00	5,40	0,90	0,20	0,11	0,55	0,28	0,24	0,86	11
PCM2	28,67	0,45	0,02	68,48	1,34	0,02	1,92	1,5	0,84	0,27	0,05	0,18	0,25	0,07	0,27	13
PCM3	28,61	2,71	0,09	66,98	2,87	0,04	4,29	4,68	1,09	0,34	0,10	0,28	0,15	0,24	1,71	9
PC Hill	28,40	2,06	0,02	67,47	2,95	0,04	3,69	4,21	1,14	0,27	0,10	0,37	0,22	0,19	0,86	36
M1-1	25,16	0,46	0,02	61,52	1,09	0,02	12,00	0,70	0,06	0,1	0,05	0,62	0,37	0,26	0,70	4
M3-1	26,04	1,80	0,07	63,94	2,96	0,05	8,11	7,05	0,87	0,25	0,08	0,32	0,23	0,21	0,91	3
Nodular*	25,23	11,16	0,44	53,01	3,63	0,07	20,14	11,98	0,59	0,50	0,33	1,13	0,25	0,08	0,57	8
Massive*	35,16	3,53	0,09	56,64	1,34	0,02	6,24	4,37	0,69	0,66	0,78	0,65	0,13	0,08	0,32	9
Palazuel+	34,92	3,20	0,07	45,89	2,45	0,07	0,85	0,86	1,01	0,33	0,34	1,02	0,18	0,20	1,09	54
Bostal·	39,90	0,37	0,01	58,29	0,21	0,00	1,02	0,48	0,47	0,24	0,01	0,04	0,08	0,01	0,13	?
S Vicent·	39,40	0,70	0,02	57,77	0,46	0,01	0,86	0,35	0,41	0,13	0,02	0,15	0,22	0,01	0,05	?
Palazuel·	39,33	0,37	0,01	58,01	0,35	0,01	0,76	0,53	0,70	0,16	0,02	0,13	0,36	0,07	0,19	?
C Tintor·	27,94	8,33	0,30	36,28	17,2	0,47	1,70	0,47	0,28	0,03	0,02	0,67	0,04	0,02	0,50	?
Pannacè·	39,90	0,54	0,01	58,46	0,35	0,01	0,19	0,02	0,11	0,28	0,02	0,07	0,13	0,01	0,08	?

* Moro Benito et al. 1992 Pico Centeno EDX reported data. + Moro et al. 1995 Palazuelo variscite ICP-OES reported data. ·Querre et al. 2008 PIXE reported data.

Tabla 2. Resumen de la media, desviación estándar y CV de las minas de Pico Centeno y de los datos bibliográficos para los elementos mayoritarios, V y Cr.

roca encajante, por lo que como éstas modifican la concentraciones de PO₄³⁻, H₂PO₄⁻ y HPO₄²⁻ durante la génesis del mineral, el cociente atómico P/Al podría ser un indicativo de la procedencia. Esta peculiaridad no ha sido registrada en ninguna otra de las fuentes europeas, donde el cociente parece estar muy próximo a 1.

Los datos composicionales expuestos en la tabla 2 muestran cómo no es posible discriminar entre las diferentes trincheras de Pico Centeno en base a los elementos minoritarios y traza como venía proponiéndose en la literatura al uso. En nuestro caso el mencionado cociente atómico P/Al puede ser considerado una característica propia de Pico Centeno plenamente coincidente con las cuentas de collar del Guadiana Medio.

Tal y como se muestra en el gráfico (Figura 5) las cuentas de collar del Guadiana Medio caen bajo las isócronas de la estimación de densidad no paramétrica calculada para las muestras de las minas de Pico Centeno, pudiéndose observar además como las muestras de Sierra Concha y El Tejar, a pesar de estar cercanas a las zonas más densamente pobladas por las muestras de Pico Centeno, se encuentran suficientemente separadas.

La estimación de la densidad no paramétrica (Figura 5) permite el reconocimiento de dos grupos con diferentes cocientes atómicos P/Al en el conjunto de los datos. Todas las cuentas de collar del Guadiana Medio caen dentro de uno de estos dos grupos, lo que puede ser considerado como un indicio de la procedencia de estas cuentas de collar. El éxito en la adscripción de estas cuentas de collar a las minas de Pico Centeno no se debe a la estrategia en la selección de una técnica analítica o a una evaluación estadística de la similitud y disimilitud entre las muestras sino a la estrategia de muestreo; de hecho el muestreo de los restos de tallas y nódulos pretallados es lo que ha posibilitado la adscripción de la fuente de materia prima y las cuentas.

V. CONCLUSIONES

La variscita explotada se ha distribuido hacia el Guadiana Medio, con especial énfasis en el asentamiento de Perdigões, mientras que los dólmenes del Andévalo Oriental no tienen acceso a esta materia prima y usan las llamadas “*piedras jabón*” para la producción de cuentas de collar.

El mineral muestreado de los frentes de ex-

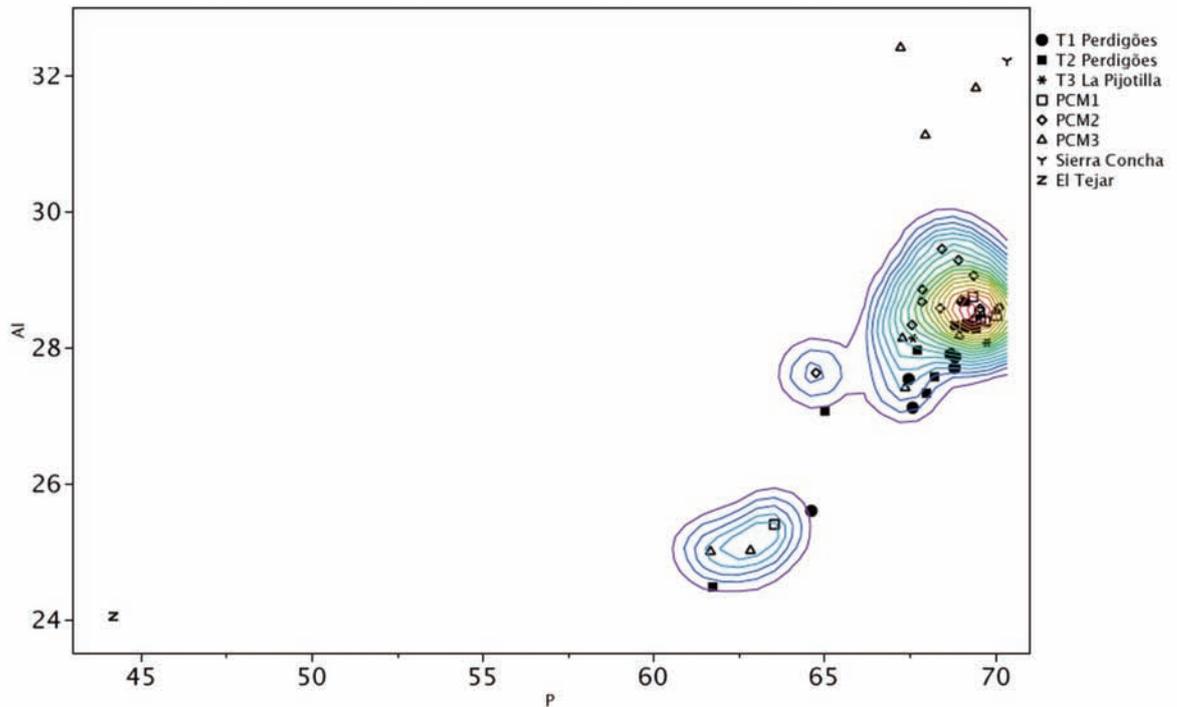


Fig. 5. Gráfica bivariable P vs. Al con ajuste no-paramétrico de densidad.

plotación, los vacíos, los restos de talla, los nódulos pretallados y las cuentas de collar del Guadiana Medio podrían caracterizarse por la presencia de hidrogenofosfatos lo que resultaría en un cociente atómico P/Al más elevado de 1. Ambos, el mineral y las cuentas de collar del Guadiana Medio presentan cocientes muy similares. Indicando que es posible que se trate de la misma materia prima.

La variabilidad natural atestiguada en la concentración elemental de las trincheras produce un solapamiento de los elementos minoritarios y traza, lo que hace imposible discriminar de qué trincheras proceden las cuentas, pero sí permite discriminar entre los afloramientos y las trincheras. Desde aquí se propone que las diferencias en los cocientes atómicos P/Al es característico de la génesis del mineral, y por tanto podría constituir una característica discriminante de cada fuente.

Nuestra hipótesis encuentra sustento en los valores elementales y desviaciones estándar de las cuentas recuperadas en diferentes regiones de Iberia, así el valor promedio del cociente atómico P/Al y su desviación estándar para Zamora (Blanco Majado *et al.* 1995), Burgos (Rojo Guerra *et al.* 1995),

Cataluña (Blasco *et al.* 1990-1991; y Ávila (Blanco Majado *et al.* 1995) es respectivamente $1,33 \pm 0,08$, $1,22 \pm 0,00$, $1,04 \pm 0,03$ Domínguez Bella (2004) proporciona un valor promedio de $1,090$, y $1,11 \pm 0,05$. Estos cocientes no se solapan y pueden ser el resultado de materias primas procedentes de diferentes fuentes.

No hay suficientes datos como para evaluar los modelos de distribución, pero parece *a priori* que existe un intercambio direccional y no una distribución del tipo *down-the-line* (Renfrew 1977) de acuerdo al gran volumen de cuentas recuperadas en Perdigões si se compara con las recuperadas en La Pijotilla. De cualquier forma no podemos sustentar un modelo de intercambio direccional con los datos de los que se disponen en la actualidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Junta de Andalucía, Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología la financiación de esta investigación (P06-HUM-02159). Carlos P. Odriozola agradece la concesión de una beca predoctoral I3P.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, A.; GALÁN, E.; MARTÍN-POZAS, J. M.; NICOLAU, J. y SALVADOR, P. 1971: "Estudio mineralógico de la variscita de Palazuelo de las Cuevas, Zamora (España)". *Studia Geologica* II: 115-132.
- BLANCO MAJADO, J.; LÓPEZ ALONSO, M. A.; EDO, M. y FERNÁNDEZ TURIEL, J. L. 1995: "Estudio de determinación mineralógica y de composición química de las cuentas de collas de calíta y otras materias primas del yacimiento de Las Peñas (Quiruelas de Vidriales, Zamora)". *Rubricatum* 1: 227-237.
- BLASCO, A.; EDO, M. y VILLALBA, M. J. 1990-1991: "Les perles en callaïs du sud de la France proviennent-elles des mines de Can Tintorer?". *Archéologie en Languedoc*, Congrès Hommage au Dr Jean Arnal. Colloque international (20/09/1990): 279-289.
- CALAS, G.; GALOISY, L. y KIRATISIN, A. 2005: "The origin of the green color of variscite". *American Mineralogist* 90: 984-990.
- CAMPRUBI, A.; COSTA, F. y MELGAREJO, J. C. 1994: "Mineralizaciones de fosfatos férricos-alumínicos de GAVÀ (Cataluña): tipología". *Boletín Geológico y Minero* 105: 444-453.
- CERDÁN, C.; LEISNER, G. y LEISNER, V. 1952: *Los sepulcros megalíticos de Huelva: excavaciones arqueológicas del Plan Nacional 1946*. Comisaría General de Excavaciones Arqueológicas, Madrid.
- CRADDOCK, P. T. 1993: "The inception of extractive metallurgy in Western Europe". En R. Francovich (ed.): *Archaeologia delle attività estrattive e metallurgiche*. Florencia, All'insenga del Gilio.
- CRADDOCK, P. T. 1995: *Early metal mining and production*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- DOMINGUEZ BELLA, S. 2004: "Variscite, a prestige mineral in the Neolithic-Aeneolithic Europe. Raw material sources and possible distribution routes". *Slovak Geological Magazine* 10: 147-152.
- EDO, M.; BLASCO, A. y VILLALBA, M. J. 1990: "Approche de la carte de distribution de la variscite de can Tintorer, Gavà (Catalogne)". *Cahiers du Quaternaire* 17: 287-298.
- EDO, M.; BLASCO, A.; VILLALBA, M. J.; GIMENO, D.; FERNÁNDEZ TURIEL, J. L. y PLANA, F. 1995: "La caracterización de la variscita del complejo minero de Can Tintorer, una experiencia aplicada al conocimiento del sistema de bienes de prestigio durante el neolítico". En J. Bernabeu; T. Orozco y X. Terradas (eds.): *Los recursos abióticos en la Prehistoria. Caracterización, aprovisionamiento e intercambio*. Universitat de Valencia.
- EDO, M.; FERNÁNDEZ TURIEL, J. L.; VILLALBA, M. J. y BLASCO, A. 1998: "La calaíta en el cuadrante NW de la Península Ibérica". En Bernabeu, J., Orozco Köhler, T. y Terradas, X. (eds.): *II Congreso Ibérico de Arqueología Peninsular, II: Neolítico, Calcolítico y Bronce*.
- FROST, R. L.; WEIER, M. L.; ERICKSON, K. L.; CARMODY, O. y MILLS, S. J. 2004: "Raman spectroscopy of phosphates of the variscite mineral group". *Journal of Raman Spectroscopy* 35: 1047-1055.
- HSU, P. H. 1982: "Crystallization of variscite at room temperature". *Soil Science* 133: 305-313.
- HURTADO, V. 1986: "El Calcolítico en la Cuenca Media del Guadiana y la necrópolis de La Pijotilla". *Actas de la Mesa Redonda sobre Megalitismo peninsular* (Madrid, 1984). Madrid.
- HURTADO, V. 1991: Informe de las excavaciones de urgencia en "La Pijotilla". Campaña de 1990. *Extremadura Arqueológica* II: 45-67.
- LARSEN, E. S. 1942: "The mineralogy and paragenesis of the variscite nodules from Near Fairfield, Utah part 1". *American Mineralogist* 27: 281-300.
- LINARES CATELA, J. A. 1999: *Declaración de BIC, Zona Arqueológica, de las Minas de Pico Centeno (Encinasola, Huelva)*. Dirección General de Bienes Culturales. Junta de Andalucía.
- LINARES CATELA, J. A. 2000: *La Primera Minería del Suroeste Peninsular. Minas, canteras y poblados del III Milenio a.n.e.* Departamento de Prehistoria y Arqueología. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona.
- LINARES CATELA, J. A. 2006: *Documentación, consolidación y puesta en valor del Conjunto Dolménico de Los Gabrieles (Valverde del Camino, Huelva)*. 2ª Fase. Anuario Arqueológico de Andalucía/2003. Sevilla, Junta de Andalucía.
- LINARES CATELA, J. A. 2010. "Análisis arquitectónico y territorial de los conjuntos megalíticos de Los Gabrieles (Valverde del Camino) y El Gallego-Hornueco (Berrocal-El Madroño). El megalitismo en el Andévalo oriental". En J.A. Pérez Macías y E. Romero Bomba (eds.), *Actas del IV Encuentro de Arqueología de Suroeste Peninsular* (Aracena, 2008). Universidad de Huelva: 209-248.
- MORO BENITO, M. C.; GIL-AGERO, M.; CEMBRANOS PÉREZ, M. L.; PÉREZ DEL VILLAR, L. y FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. 1995: "Las mineralizaciones estratiformes de variscita (Aluminofosfatitas) silúricas de los Sinformes de Alcañices (Zamora) y Terena (Huelva) (España)". *Boletín Geológico y Minero* 106: 233-249.
- MORO BENITO, M. C.; GIL-AGERO, M.; MONTERO, J. M.; CEMBRANOS PÉREZ, M. L.; FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. y HERNÁNDEZ SANCHEZ, E. 1992: "Características de las mineralizaciones de variscita asociadas a los materiales silúricos del Sinforme de Terena, Encinasola (Provincia de Huelva). Comparación con las de la provincia de Zamora". *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 15: 79-89.
- NOCETE, F. y LINARES, J. A. 1999: *Las primeras sociedades mineras en Huelva. Historia de la provincia de Huelva*. Alosno.

- PLINY, *Natural History* XXXVIII.
- POZO CASAS, J. y MEDINA, J. A. 2002: "Estudio mineralógico de componentes ornamentales pétreos procedentes de un yacimiento de la Cultura del Argar (Fuente Álamo, Almería)". *Boletín Geológico y Minero* 113: 131-142.
- QUERRÉ, G.; HERBAULT, F. y CALLIGARO, T. 2007: "Long distance transport of Neolithic variscite ornaments along the European Atlantic arc demonstrated by PIXE analysis". *Proceedings of the XI International Conference on PIXE and its Analytical Applications Puebla, Mexico, May 25-29, 2007*. UNAM.
- QUERRÉ, G.; HERBAULT, F. y CALLIGARO, T. 2008: "Transport of Neolithic variscites demonstrated by PIXE analysis". *X-Ray Spectrometry* 37: 116-120.
- RENFREW, C. 1977: "Alternative models for exchange and spatial distribution". En T. K. Earle y K. L. Erickson (eds.): *Exchange Systems in Prehistory*. New York, Academic Press.
- ROJO GUERRA, M. A.; DELIBES DE CASTRO, G.; EDO, M. y FERNÁNDEZ TURIEL, J. L. 1995: "Adornos de Calaíta en los ajuares dolménicos de la provincia de Burgos: Apuntes sobre su composición y procedencia". *Rubricatum* 1: 239-250.
- SALVADOR, P. y FAYOS, J. 1972: "Some aspects of the structural relationship between "meshbach-Type" and Lucin-Type" variscites". *American Mineralogist* 57: 36-44.
- VALERA, A. C.; LAGO, M. y SHAW EVANGELISTA, L. 2002: "Ambientes funerarios no complejo arqueológico dos Perdigões: uma análise preliminar do contexto das práticas funerarias Calcolíticas no Alentejo". *ERA-Arqueologia* 4.
- VILLALBA, M. J. 2002: "Le gîte de variscite de Can Tintorer: production, transformation et circulation du minéral vert". En J. Guilaine (ed.): *Matériaux, productions, circulations du Néolithique à l'Age du Bronze. Séminaire du Collège de France*. Paris, Errance.
- VILLALBA, M. J.; EDO, M. y BLASCO, A. 1991: "Zone d'influence de la callaïs de Can Tintorer. Identité du Chasséen". *Actes du Colloque International de Nemours 1989*. Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ille de France 4. Paris.
- WEIGAND, P. C.; HARBOTTLE, G. y SAYRE, E. V. 1977: "Turquoise source and source analysis: Mesoamerica and the Southwestern U.S.A." *Exchange Systems in Prehistory*. New York, Academic Press.

PRIMEROS RESULTADOS ARQUEOMÉTRICOS EN EL ESTUDIO DE LOS PROGRAMAS ESTATUARIOS DEL FORO DE REGINA (PROVINCIA BAETICA)

FIRST ARCHAEOOMETRICAL RESULTS IN THE STUDY OF THE STATUARY PROGRAMS FROM THE FORUM OF REGINA (BAETICA PROVINCE)

Hernando Royo Plumed (1) / Pilar Lapuente Mercadal (1) / Trinidad Nogales Basarrate (2)

(1) Área de Petrología y Geoquímica, Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza

(2) Museo Nacional de Arte Romano (MNAR)

RESUMEN: En las recientes excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en el foro de la ciudad romana de Regina (Badajoz) se localizaron varios restos marmóreos de diversa cronología. Responden a piezas fragmentadas de extremidades y plegados estatuarios, algunos colosales, y lo más significativo del conjunto: tres cabezas masculinas.

En este trabajo se presentan los datos analíticos obtenidos del estudio arqueométrico de seis de estas piezas marmóreas. El análisis se ha dirigido a la caracterización litológica de las muestras rocosas utilizadas en los retratos y en tres de los fragmentos mencionados con la finalidad de indagar sobre la procedencia del mármol utilizado.

Metodológicamente se parte del estudio petrográfico completo, descripción de lámina delgada bajo el microscopio óptico, y observación del comportamiento luminiscente mediante la captación de imágenes fotográficas o catodomicrofácies. En tres de las muestras fue posible completar el estudio con el análisis de isótopos estables de ^{13}C y ^{18}O .

La determinación de las canteras de origen se realiza por comparación aplicando idéntica metodología a una amplia litoteca de mármoles, tanto peninsulares como mediterráneos, explotados en la antigüedad.

SUMMARY: During recent archaeological excavations carried out in the forum of the Roman city of Regina (Badajoz) several marble pieces of diverse chronology were located. These are fragment pieces of human limbs and statuary folds, some of colossal proportions and the most significant find of the group: three male heads.

This paper presents the analytical data obtained from the archaeometric study of six of these marble pieces. The analysis was directed towards the lithological characterization of the stones used for the heads and three of the mentioned fragments, in order to investigate their marble provenance.

From the methodological point of view, several techniques were applied: petrography, cathodoluminescence under the polarized microscope, including microphotographs or catodomicrofácies. In three of these samples, the stable isotopes of ^{13}C and ^{18}O were measured.

The determination of the quarries of origin is made by comparison using the same methodology applied to pieces from an extensive marble collection, of both Iberian and Mediterranean origin, exploited in antiquity.

PALABRAS CLAVE: Regina, mármol, arqueometría, petrografía, catodoluminiscencia, análisis isotópico.

KEY WORDS: Regina, marble, archaeometry, petrography, cathodoluminescence, isotopic analysis.

I. INTRODUCCIÓN

El material estudiado corresponde a un conjunto de piezas escultóricas en mármol blanco procedentes del Foro del yacimiento romano “Casas de Reina”¹, *Regina Turdulorum* (Badajoz), depositadas en el Museo Arqueológico de Badajoz².

La ciudad romana de *Regina*, adscrita al *conventus cordubensis*, se localiza en la actual campiña sur de la provincia de Badajoz, en la franja territorial que se extiende entre el Guadiana y el Guadalquivir. Desde hace ya varias décadas, viene siendo objeto de atención arqueológica Álvarez *et al.* (2004). La posición estratégica de este núcleo urbano es determinante en época romana, por encontrarse en plena ruta de comunicación entre *Emerita* y *Corduba*, *Hispalis* y *Astigi*, capitales respectivamente de provincia y *conventus* de la *Baetica*. Además del papel administrativo que tenían las ciudades que servían de nexo entre capitales y cabeceras urbanas, la zona se inserta en una rica región minera de gran potencial económico. Es por ello, que resulta doblemente interesante el estudio arqueométrico de piezas talladas en mármol. Así, al interés arqueológico se suma el conocimiento de uso de la materia prima regional.

De la epigrafía reginense es posible inferir su importancia en época flavia, momento de la concesión del estatuto flavio municipal, que sin duda supondría un reforzamiento administrativo para un territorio escasamente poblado, pero de gran potencialidad económica, como se puede pensar por las propiedades imperiales de la zona, sin duda conectadas a las explotaciones mineras.

El foro de *Regina*, ubicado canónicamente en el cruce de *decumanus maximus* y *kardo maximus*, está siendo, en la actualidad, paulatinamente excavado. Con la excepción de algunas placas marmóreas, sólo escasos restos decorativos podían adscribirse a este espacio. Sin embargo, en el ve-

rano de 2008 y más tarde en 2009, se localizaron varios fragmentos escultóricos de diversa tipología, en pozos practicados dentro del recinto forense, a cuyo interior se arrojaron en fecha indeterminada. La amortización de este espacio público se suele situar entre los siglos V y VI d. C. La destrucción intencionada de las obras queda bien patente por la presencia de sendas caleras en la zona, fenómeno muy frecuente en los procesos de expoliación y abandono de yacimientos antiguos. Es evidente que estas obras se salvaron gracias al azar o simplemente porque revestían mayor valor estético o “simbólico”, al tratarse de partes de estatuas de emperadores.

El estudio de estos recientes hallazgos estatuarios ayuda a completar la visión de este espacio público oficial. Los fragmentos marmóreos hallados son varios trozos de una inscripción oficial de época de Trajano, varias extremidades estatuarías algunas colosales, dos manos, un dedo colosal, fragmentos de plegados que parecen partes de estatuas togadas y lo más significativo del conjunto: tres cabezas masculinas, que han sido respectivamente identificadas con un Trajano, un príncipe Julio-Claudio y un personaje ideal, quizá el Genio del municipio.

Nº	Sigla	Descripción	Dimensiones
1	RE-1	Retrato juvenil con corona cívica	Alt. máx. 0,46m / Anchura máx: 0,233m
2	RE-2	Efigie ideal masculina (posible <i>Genius</i>)	Alt. 0,38m / Anchura: 0,31m
3	RE-3	Retrato del emperador Trajano	Alt. 0,37m / Anchura: 0,24m
4	RE-4	Fragmento de plegado (togado)	Alt. 0,56m / Anchura: 0,38m
5	RE-5	Mano izquierda masculina con <i>rotulus</i>	Long. máx. 0,27m / Altura máx: 0,85m
6	RE-6	Fragmento de plegado	Long. máx. 0,205m / Anchura máx. 0,19m

Fig. 1. Listado y siglas de las muestras estudiadas.

¹ El presente trabajo se inscribe en los proyectos regionales de la Junta de Extremadura de I + D: PRI09A140 “Arte Romano en Extremadura I: Creación de modelos en el Occidente Peninsular” y PRI09A134 “Aplicación de nuevas tecnologías en el análisis arqueológico del territorio de la ciudad romana de Regina”.

² Agradecemos a la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Extremadura y al Museo Arqueológico Provincial de Badajoz, en la persona de su director y equipo, su disponibilidad para realizar las muestras necesarias para este estudio.



Fig. 2. Aspecto de las piezas estudiadas.

Del conjunto de piezas escultóricas se han seleccionado para su estudio, los retratos y tres de los fragmentos mencionados. En la Figura 1 se refleja la sigla y características de las piezas y en la Figura 2 se exponen las imágenes de cada pieza estudiada. El muestreo se realizó con anterioridad a las tareas de limpieza, por lo que las muescas sacadas presentaban una pátina superficial de alteración que hubo que eliminar antes de su análisis.

II. OBJETIVO DE ESTUDIO

El objetivo de este estudio se ha dirigido a la caracterización litológica de las muestras rocosas utilizadas en las seis piezas arqueológicas mencionadas con la finalidad de indagar sobre la procedencia local o foránea del material mármoleo utilizado, a la vez que el estudio analítico de las piezas fragmentadas ayuda a su recomposición.

Los programas ornamentales, de carácter público o privado desarrollados en las ciudades romanas requirieron el uso de grandes cantidades de

mármol de diferentes tipos y procedencias. En el ámbito territorial hispano, los materiales líticos locales, mayoritariamente sedimentarios, no permitían satisfacer todas las necesidades ya que, por su menor calidad, no podían competir con las prestaciones que ofrecían los mármoles de importación.

Sin embargo, en la Hispania romana y en particular en el amplio distrito lusitano de Estremoz, se empezaron a explotar mármoles de diversos focos de extracción que nada tienen que envidiar, ni en calidad estética ni técnica, a los mármoles de importación. También muy cercanas a *Regina* se documentan las explotaciones marmóreas de Almadén de la Plata y de Alconera (Figura 3). Es por ello, doblemente importante, por una parte averiguar si se utilizaron los recursos regionales, en qué momento, cuáles de ellos y qué dispersión geográfica tienen estos materiales, y por otra parte, si fueron elegidos determinados mármoles foráneos para piezas emblemáticas y en qué momento pudieron entrar en competencia ambos tipos de materiales.

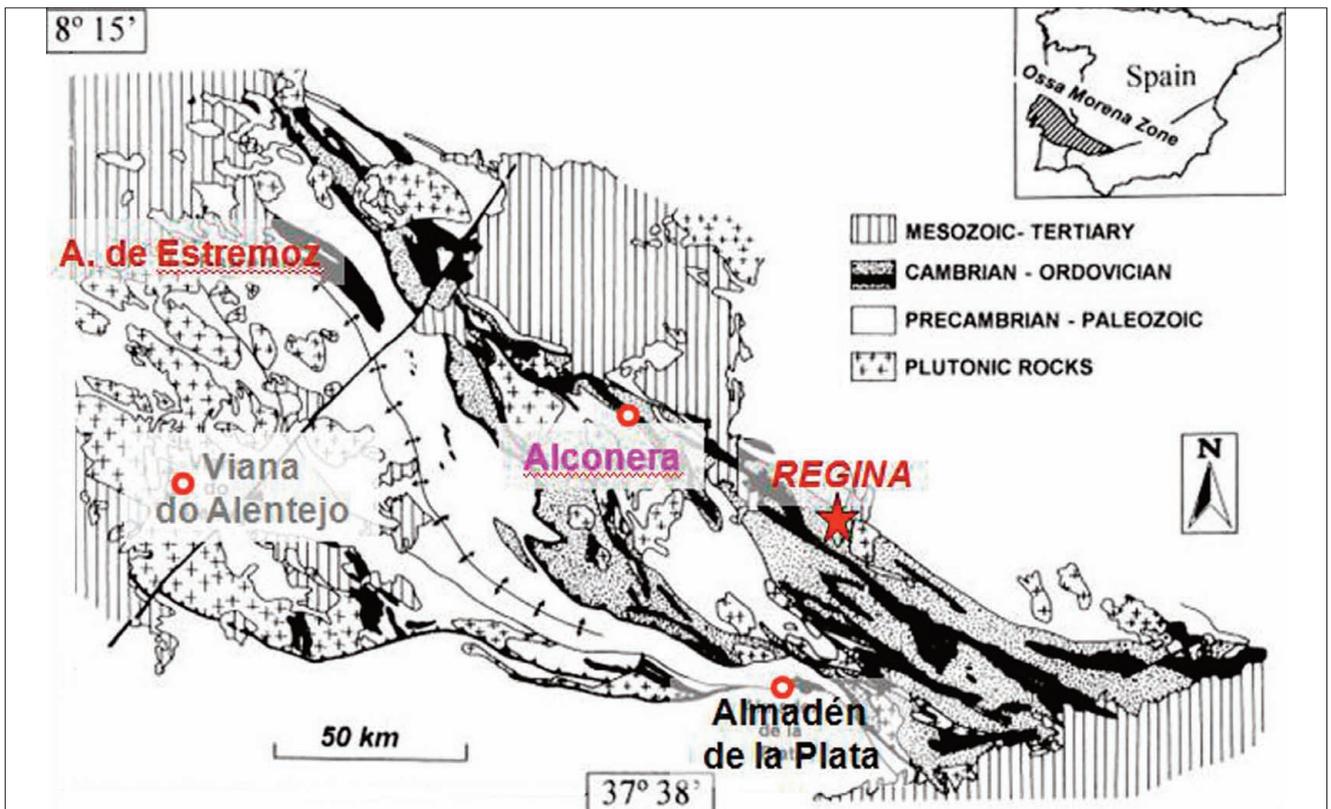


Fig. 3. Localización de los focos de extracción marmórea más próximos a Regina.

El interés arqueológico que este tipo de estudio arqueométrico representa, está resurgiendo entre varios grupos de investigadores, como se ha puesto de manifiesto recientemente en sendas reuniones específicas: el Coloquio Internacional “*Marmora Baeticae et Lusitaniae*”, celebrado en diciembre de 2006 en la Universidad de Sevilla y el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida, y el I Coloquio de Arqueología de Carranque “*Marmora romanos en Hispania*”, de marzo de 2009. Fruto de ambos eventos, van a ver la luz sendos volúmenes [Nogales y Beltrán (eds.), 2008; y García Entero (en prensa)] donde se pone al día el estado de la investigación sobre los materiales líticos en la España romana.

III. METODOLOGÍA

La identificación de los mármoles clásicos se aborda con estudios mineralógicos y geoquímicos, aplicados doblemente, en muestras de cantera y en las piezas arqueológicas a investigar. Esta caracterización resulta más completa cuantas más técnicas se apliquen, valorando los resultados de varios

análisis o estudio multi-método (Lapuente y Álvarez, en prensa). Este campo de investigación interdisciplinar está auspiciado por la Asociación internacional ASMOSIA (Association for the Study of Marble and Other Stones In Antiquity) quien en sus sucesivos Congresos Internacionales recoge los trabajos especializados de esta temática (Herz and Waelkens (eds.), 1988; Waelkens *et al.* (eds.), 1992; Maniatis *et al.* (eds.), 1995; Schvoerer (ed.), 1999; Herrmann *et al.* (eds.), 2002; Lazzarini (ed.), 2002; Maniatis (ed.), 2009; Jockey (ed.), 2009). En su última edición celebrada en Tarragona, se preparó una exposición con los principales tipos de mármoles y piedra ornamental explotados en Hispania (Álvarez *et al.* 2009).

La determinación de las canteras de origen se realiza por comparación, aplicando idéntica metodología a una amplia litoteca de mármoles de canteras hispanas y a las más importantes fuentes de extracción de la cuenca mediterránea explotadas en la antigüedad. En el desarrollo de este trabajo se ha comparado con muestras de mármoles españoles, portugueses, franceses, belgas, italianos, griegos y

turcos, así como con los datos analíticos aportados por otros autores (volúmenes de ASMOSIA) y trabajos especializados (Attanasio *et al.* 2006).

Metodológicamente se ha partido del estudio petrográfico completo con descripción de lámina delgada bajo microscopio petrográfico. Se ha usado el modelo OLYMPUS AX-70, del Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Se ha prestado una especial atención a la composición mineralógica, textura, tamaño máximo de grano MGS (Maximum Grain Size) y forma del límite entre granos BGS (Boundary Grain Shape).

En la Figura 4 se presenta el conjunto de microfotografías tomadas en condiciones de luz polarizada plana (NP), cruzada (NC), junto con las catodomicrofotografías observadas con el equipo de catodoluminiscencia (CL) del Institut Català d'Arqueologia Clàssica I.C.A.C. (Tarragona). Se trata del dispositivo CL8200 Mk5-1, acoplado a un microscopio petrográfico NIKON Eclipse 50iPOL que permite la observación del comportamiento luminiscente de la muestra (color, intensidad y distribución de la emisión de fotones).

Una vez elaborada la lámina delgada, fue posible retirar una pequeña cantidad de muestra adicional, en tres de las piezas: la Cabeza de Trajano y los dos fragmentos de plegados (siglas RE-3, RE-4 y RE-6). Con ellas, se procedió a su pulverización y tratamiento de obtención de análisis de isótopos estables. La abundancia relativa de los isótopos de ^{13}C y ^{18}O fue determinada con un espectrómetro de masas FINIGAN MAT 252, del *Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza"* (Roma). Los resultados se expresan en términos de la desviación $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en ‰, relativo al estándar de referencia internacional PDB (Figura 5).

Es preciso puntualizar que a pesar de haber retirado la pátina superficial, es posible que la alteración haya modificado ligeramente su composición isotópica original. En general, la relación isotópica de O suele experimentar un decrecimiento de su valor en la zona alterada, mientras que el valor de C puede verse disminuido o ligeramente incrementado (Herz, 1985). Con todo, los valores isotópicos de las tres muestras son bas-

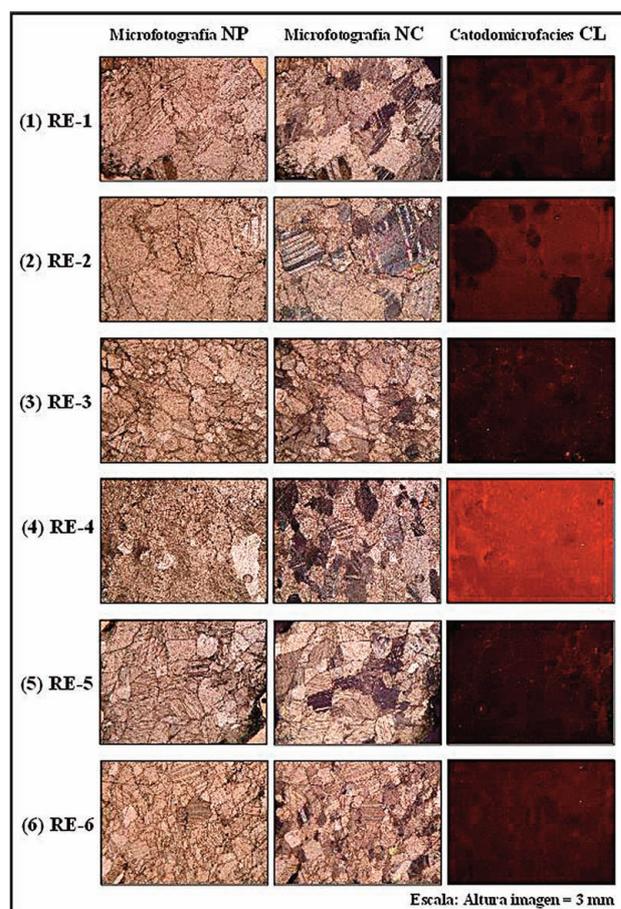


Fig. 4. Microfotografías de las muestras estudiadas tomadas en condiciones de luz polarizada plana (NP), cruzada (NC) y de catodomicrofotografías (CL).

tante próximos entre sí, con diferencias máximas de $-0,64$ ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y de $0,62$ ‰ para $\delta^{13}\text{C}$.

IV. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Las relaciones isotópicas obtenidas se han proyectado en el diagrama correspondiente a las variaciones isotópicas estudiadas para los mármoles hispanos de Ossa Morena (Figura 6). En él se observa que las piezas de *Regina* analizadas se sitúan en la parte central del diagrama, solapándose una de ellas (RE-6) con algunas muestras de Viana do Alentejo y las otras dos próximas entre sí y ligeramente separadas, tanto de Viana do Alentejo, como de Almadén de la Plata. Por su parte, los mármoles blancos de Alconera presentan relaciones isotópicas muy alejadas de las obtenidas en las piezas de estudio.

Petrográficamente, los mármoles de Viana do Alentejo se caracterizan por presentar una tex-

Nº	Sigla	Descripción	d 180 (PDB)	d 13C (PDB)
3	RE-3	Retrato del Emperador Trajano	-5,23	1,54
4	RE-4	Fragmento de pliegado (togado)	-5,87	1,08
6	RE-6	Fragmento de pliegado	-5,38	1,7

Fig. 5. Valores de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en ‰ relativo al estándar de referencia internacional PDB de las muestras estudiadas.

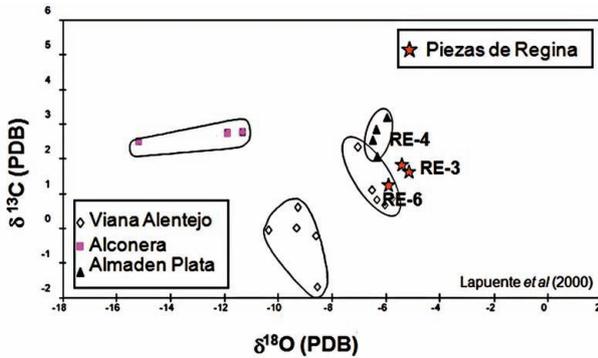


Fig. 6. Relaciones isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) y $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) de las muestras estudiadas junto con las variaciones correspondientes a los mármoles de Ossa Morena según Lapuente *et al.* (2000).

tura granoblástica homeoblástica, poligonal en mosaico, con los límites de sus cristales de calcita, rectos o ligeramente curvados y con la particularidad de presentar abundantes microcristales de cuarzo e incluso llegan a concentrar diversos silicatos (diopsido, epidota, clorita, micas blancas, entre otros) desarrollando texturas bandeadas tipo “cipollino” (Lapuente y Turi 1995). Estas características, junto con su comportamiento bajo CL (Lapuente *et al.* 2000) hacen que sean distintivos y no puedan confundirse con los mármoles aquí estudiados.

Los datos isotópicos proyectados en el diagrama correspondiente a las relaciones isotópicas de los mármoles del Anticlinal de Estremoz, muestran una clara superposición, como se observa en la Figura 7. En dicho gráfico se han proyectado además las variaciones isotópicas de los mármoles clásicos de grano fino (MGS<2mm) (Gorgoni *et al.* 2002). A la vista del diagrama, los valores isotópi-

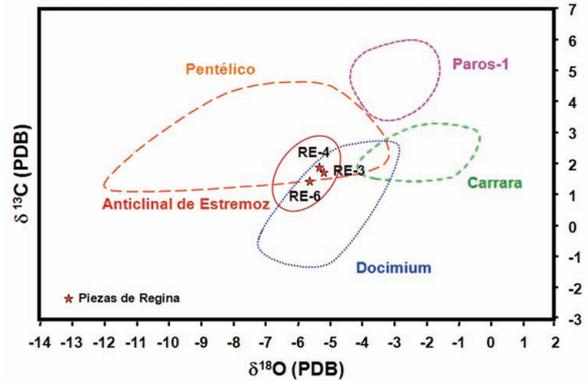


Fig. 7. Relaciones isotópicas de ^{13}C y ^{18}O de las muestras analizadas junto con las distribuciones isotópicas de los mármoles blancos de características más similares tanto peninsulares (Lapuente *et al.* 2000) como clásicos (Gorgoni *et al.* 2002).

cos de las piezas de Regina son compatibles con los correspondientes a los del Pentélico y Docimium. Las tres opciones de canteras serán valoradas atendiendo a sus características petrográficas y de CL.

En la tabla de la Figura 8 se recapitulan las características observadas bajo el microscopio petrográfico, el comportamiento luminescente y las compatibilidades de los valores isotópicos con los correspondientes a dichas canteras.

Todas las muestras estudiadas responden litológicamente a mármoles calcíticos con un escaso porcentaje de minerales accesorios, principalmente cuarzo y algunas micas blancas. Presentan una textura típica granoblástica manifestando distintas variaciones en cuanto a tamaño máximo de grano (MGS) y a la forma del límite de sus granos (BGS). A partir del estudio petrográfico complementado con CL se han agrupado en tres tipos diferentes, todos ellos compatibles con las características que muestran la amplia variedad de mármoles del Anticlinal de Estremoz (Lapuente *et al.*, 2000; Alvarez *et al.*, 2009), si bien en algunos de ellos es posible adscribirlos también a otras procedencias. Por ello, se valoran a continuación las similitudes y diferencias entre los mármoles a investigar y las posibles canteras de procedencia.

- **Tipo A** (corresponde a las piezas RE-1, RE-2 y RE-4). Su textura mayoritariamente homeoblástica muestra variaciones a ligeramente heteroblástica, con un tamaño de grano fino, con MGS menor de 2mm de diámetro, o ligeramente

Características	RE-1	RE-2	RE-3	RE-4	RE-5	RE-6
Color	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco rosáceo	Blanco	Blanco
Mineralogía principal	Calcita	Calcita	Calcita	Calcita	Calcita	Calcita
Accesorios	Cuarzo, mica	Cuarzo	Cuarzo	Cuarzo, mica	Cuarzo	Cuarzo
Textura	Homeoblástica ligeramente heteroblástica	Homeoblástica ligeramente heteroblástica	Ligeramente Heteroblástica Ligeramente deformada	Homeoblástica ligeramente heteroblástica	Homeoblástica ligeramente heteroblástica	Ligeramente Heteroblástica Ligeramente deformada
MGS (tamaño máximo grano)	< 2 mm	< 3 mm	<1,5 mm	< 2 mm	< 1,5 mm	< 1,5 mm
BGS (forma límite de grano)	Suturados, dentados	Curvados, suturados	Variables	Curvados, rectos	Curvados, suturados	Variables
Luminiscencia	Muy baja-alta	Muy baja-alta	Media	Alta	Media	Media
Catodo-microfacies	Heterogénea Parches relictos	Heterogénea Parches relictos	Heterogénea Límites de cristales	Heterogénea Parches relictos	Heterogénea Límites de cristales	Heterogénea Límites de cristales
Compatibilidad isotópica			Estremoz Docimium Pentélico	Estremoz Docimium Pentélico		Estremoz Docimium Pentélico
TIPOS	A	A	B	A	AB	B

Fig. 8. Características petrográficas, catodomicrofacies y compatibilidad de procedencias según los datos isotópicos.

superior, pero sin llegar a alcanzar los 3mm como en RE-2. En cuanto a la forma de los límites de los cristales no presentan un patrón común. Sin embargo, las tres piezas tienen la característica luminiscente típica de muchos mármoles del Anticlinal de Estremoz, con catodomicrofacies parcheada, por la sombra de relictos e intensidades variables (Lapuente *et al.* 2000). El tamaño de grano es compatible con esta procedencia para las tres piezas. Comparadas con los mármoles Docimium y Pentélico, no existe similitud textural ni granulométrica, por lo que puede concluirse que el **Anticlinal de Estremoz** es la procedencia más plausible de estas muestras, a falta de análisis isotópicos en las piezas RE-1 y RE-2 que confirmen esta procedencia.

- **Tipo B** (corresponde a las piezas **RE-3** y **RE-6**). Ambas muestras responden a una variedad de mármol con características petrográficas y de CL, muy similares. En su textura, ligeramente Heteroblástica, se observan signos de haber sufrido procesos de deformación de baja intensidad (metamorfismo dinámico). Su MGS no supera los 1,5 mm, tratándose de un mármol de grano fino, con

los límites entre sus granos variables, desde curvos, rectos a suturados, incluso lobulados. Presenta un comportamiento luminiscente heterogéneo, concentrando la mayor luminiscencia en los límites entre los cristales de calcita. Las características descritas pueden ser compatibles con otros mármoles de Ossa Morena, además de los del Anticlinal de Estremoz. En concreto, las evidencias de deformación son muy características de los mármoles del distrito de Almadén de la Plata, sin embargo en éstos la deformación e incluso cataclasis (fragmentación y neoformación de minerales) son mucho más intensas. Igualmente ocurre con los mármoles de grano fino de Docimium también reconocibles por su metamorfismo dinámico. Por tanto, una y otra procedencia deben descartarse. En relación con el Pentélico, caben algunas dudas, ya que su tamaño de grano y el carácter ligeramente heteroblástico, son totalmente compatibles con esta procedencia. Sin embargo, la fábrica de los mármoles del Pentélico suelen mostrar una orientación preferente bien definida con alargamiento manifiesto de sus cristales de calcita, junto con la presencia de pajuelas de moscovita igualmente

orientadas según su elongación, aspectos que no se muestran en estos mármoles. Por otra parte, comparando las catodomicrofacies del Pentélico que ofrecen algunos autores (Barbin *et al.* 1989, 1992; Lapuente y Blanc, 2002) tampoco se observan similitudes con las de las piezas estudiadas. Por tanto, al valorar el conjunto de datos obtenidos parece más factible decantarse por el mármol del **Anticlinal de Estremoz**, a pesar de que los análisis isotópicos de ambas piezas son compatibles tanto con el mármol lusitano como con Pentélico.

- **Tipo AB** (corresponde con la pieza **RE-5**): presenta características intermedias a los otros dos tipos petrográficos, aunque con mayor afinidad a las piezas del tipo A. Por una parte se trata de un mármol de grano fino (MGS <1,5 mm) como los del tipo B, pero con escasa dispersión de tamaño de grano (textura homeoblástica), como los de las piezas del tipo A. Sin embargo, su luminiscencia de intensidad media con una catodomicrofacies heterogénea, que se concentra en el límite de sus cristales, es similar a la que manifiestan las piezas del tipo B. Sin contar con otras pruebas analíticas que puedan ayudar a ser más concluyentes, no puede asegurarse su procedencia, aunque sí puede decirse que es compatible con el **Anticlinal de Estremoz**, a partir de los datos petrográficos y de CL.

V. CONCLUSIONES

Las seis piezas analizadas son mármoles calcíticos y se agrupan en tres tipos petrográficos no muy distintos que son compatibles con una procedencia lusitana, en el distrito del Anticlinal de Estremoz. La valoración de su procedencia geológica se ha realizado a partir del estudio petrográfico, combinado con el de catodoluminiscencia y apoyado por los datos de tres valores de isótopos estables de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

Con los datos disponibles, se ha determinado la procedencia con distintos niveles de seguridad. Así, puede decirse que el Anticlinal de Estremoz (Portugal) fue el centro de suministro más probable para tres de las piezas (muestras RE-1, RE-2 y RE-4).

Por lo que se refiere a las muestras RE-3 y RE-6, atendiendo a los datos de sus isótopos estables, ambas son compatibles con mármoles lusitanos del Anticlinal de Estremoz, además de Pentélico y Docimium, entre los clásicos. Esta última procedencia es del todo incompatible petrográficamente, sin embargo el Pentélico muestra algunas similitudes granulométricas y texturales. Al valorar su catodomicrofacies parece más factible la procedencia lusitana. En todo caso, sería conveniente apoyar la determinación con otras técnicas complementarias como la cuantificación de la luminiscencia.

Por último, a falta de otros análisis complementarios resulta arriesgado asegurar la procedencia de la pieza RE-5. Del conjunto de mármoles hispanos, su petrografía y CL son también compatibles con el Anticlinal de Estremoz.

Estas piezas de mármol son un evidente testimonio de lo que debieron ser los programas oficiales de este foro bético, hasta ahora tenido por modesto ante la ausencia de documentos de esta categoría. La identificación del mármol procedente del distrito del Anticlinal de Estremoz, en piezas de diferente cronología, pone de manifiesto una dilatada utilización. En especial, los tres retratos vienen a demostrar un proceso evolutivo en la ornamentación, con una cronología estilística muy distinta: desde época julio-claudia hasta bien avanzada la segunda centuria. Su buen estado de conservación ha merecido que tomen un lugar preferente en la actual exposición del Museo Arqueológico Provincial de Badajoz.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, A.; DOMÉNECH, A. LAPUENTE, P., PITARCH, Á. y ROYO, H. 2009: *Marbles and Stones of Hispania*. Exhibition Catalogue Asmosia IX International Conference. Instituto Catalán de Arqueología Clásica. 143p.
- ÁLVAREZ, J.M.; RODRÍGUEZ G. y SAQUETE J.C. 2004: "La ciudad romana de *Regina*. Nuevas perspectivas sobre su configuración urbana", *Anas* 17: 11-45.
- ATANASIO, D.; BRILLI, M. y OGLE, N. 2006: *The isotopic signature of classical marbles. L'Erma di Bretschneider*. Studia Archaeologica. 145p.
- BARBIN, V.; RAMSEYER, K.; DECROUEZ, D. y HERB, R. 1989: "Marbres blancs: caractérisation par cathodoluminescence". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, t. 308, série II: 861-866.
- BARBIN, V.; RAMSEYER, K.; DÉCROUEZ, D.; BURNS, S.J.; CHAMAY, J. y MAIER, J.L. 1992: "Cathodoluminescence of white marbles: an overview", *Archaeometry* 34: 175-183.
- GARCÍA-ENTERO, V. e. p.: *Actas del I Coloquio de Arqueología de Carranque "Marmora romanos en Hispania"*.
- GORGONI, C.; LAZZARINI, L.; PALLANTE, P. y TURI, B. 2002: "An updated and detailed mineropetrographic and C-O stable isotopic reference database for the main Mediterranean marbles used in antiquity". En J.J. Herrmann, Jr., N. Herz y R. Newman (eds): *Interdisciplinary studies on Ancient Stone*: 115-131.
- HERRMANN, J.J.Jr.; HERZ N. y NEWMAN R. (eds.) 2002: *ASMOSIA 5. Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the Fifth International Conference of the Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity*. Archetype Pub. Ltd., London. 420p.
- HERZ, N. 1985: "Isotopic analysis of marble". En G. Rapp Jr y J.A. Gisfor (eds.): *Archaeological Geology*. Yale Univ Press: 331-351.
- HERZ, N. y WAELEKENS, M. (eds.) 1988: *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*. NATO ASI Series E, Applied Sciences, Vol. 153 Kluwer Academic Publishers: 482p.
- JOCKEY PH. (ed.) 2009: *Interdisciplinary Studies on Mediterranean Ancient Marble and Stones*. Proceedings of the VIIIth International Conference of the Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity, Aix-en-Provence, June 12-18, 2006; Collection L'atelier méditerranéen. Maison méditerranéenne des sciences de l'homme. Maisonnueve y Larose. 998p.
- LAPUENTE, M. P. y TURI, B. 1995: "Marbles from Portugal: petrographic and isotopic characterization". *Science and Technology for cultural Heritage* 4 (2): 33-42.
- LAPUENTE, M. P.; TURI, B. y BLANC, PH. 2000: "Marbles from Roman Hispania: stable isotope and cathodoluminescence characterization". *Applied Geochemistry* 15: 1469-1493.
- LAPUENTE, M.P. y BLANC, Ph. 2002: "Marbles from Hispania: scientific approach based on cathodoluminescence". En J.J.Jr. Herrmann; N. Herz y R. Newmwn (Eds): *Asmosia 5: Interdisciplinary Studies on Ancient Stone*. Archetype Pub. Ltd., London: 143-152.
- LAPUENTE, P. y ÁLVAREZ, A. e. p.: "Métodos para la identificación de los mármoles". En V. García-Entero (ed): *Actas del I Coloquio de Arqueología de Carranque "Marmora romanos en Hispania"*.
- LAZZARINI L. (ed.) 2002: *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone*. ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth International Conference of the Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity. Bottega d'Erasmo Aldo Ausilio Editore (Padova). 548p.
- MANIATIS, Y.; HERZ, N. y BASIAKOS Y. (eds.) 1995: *The Study of Marble and Other Stones Used in Antiquity*. Archetype Publications, London. 302p.
- MANIATIS, Y. 2009: *ASMOSIA VII*. Proceedings of the 7th International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity. Thassos 15-20 September, 2003. École française d'Athènes. BCH supplement 51.
- NOGALES BASARRATE, T. y BELTRÁN FORTES, J. (eds.) 2008: *Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana "L'ERMA" di BRETSCHNEIDER*. Hispania Antigua. Serie Arqueológica 2. 543p.
- NOGALES BASARRATE, T. y NOBRE DA SILVA, L. 2010: «Programas estatuarios en el foro de *Regina (Baetica)*: Príncipe julio-claudio, Genius y estatua colosal de Trajano. Una primera aproximación", *VI Reunión de Escultura Romana en Hispania* (Segóbriga, 2008). Alicante: 2020.
- SCHVOERER M. (ed.) 1999: *Archéomatériaux - Marbres et Autres Roches*. Actes de la IVème Conférence Internationale de l'Association pour l'Étude des Marbres et Autres Roches Utilisés dans le Passé; Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie and Presses Universitaires de Bordeaux (Bordeaux-Talence). 368p.
- WAELEKENS, M.; HERZ N. y MOENS, L. (eds.) 1992: *Ancient Stones: Quarrying, Trade and Provenance. Interdisciplinary Studies on Stones and Stone Technology in Europe and Near East from the Prehistoric to the Early Christian Period*. Acta Archaeologica Lovaniensia, Monographiae 4. Leuven University Press. 296p.

ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO DE AJUARES FUNERARIOS CRISTIANOS DE VIDRIO DE LA COLEGIATA DE GANDIA (VALENCIA)

NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS OF CHRISTIAN FUNERARY GLASS FROM GANDIA COLLEGIATE CHURCH (VALENCIA)

Sonia Murcia-Mascarós (1) / Clodoaldo Roldán García (1) / Isabel Rodenas Martín (1) / Cristina Vidal Lorenzo (2)

(1) Instituto de Ciencia de los Materiales, Universidad de Valencia

(2) Dpto. de Historia del Arte, Universidad de Valencia

RESUMEN: En las excavaciones realizadas en el interior de la Colegiata de Gandia en el año 2001, se encontraron piezas completas o semicompletas de vidrio en enterramientos funerarios primarios. Destaca la presencia de varios ajuares fúnebres compuestos por cálices y vinajeras, dos de las cuales son de color azul intenso y decoradas con esmalte blanco. Las piezas son similares a otras piezas de vidrio mediterráneo español datadas en el siglo XVI y con formas y decoración según la moda veneciana aunque con características estilísticas locales.

El análisis de la composición de los materiales que componen estas piezas fue realizado mediante fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (EDXRF) portátil, una técnica desarrollada por el grupo de Arqueometría del ICMUV y que ya ha sido empleada con éxito en la caracterización de otros vidrios españoles "façon de Venise", por lo que es posible relacionar la composición de los vidrios de Gandia con los ya analizados. Las medidas no requieren toma de muestra y se realizan sin ninguna alteración de las piezas.

Los resultados de los análisis realizados ponen de manifiesto la particularidad de las piezas ya que además del cobalto, característico del vidrio azul, presentan una elevada cantidad de plomo así como bismuto, níquel y arsénico. Esta composición es compatible con cronologías que abarcan los siglos XV al XVII. También se ha detectado la presencia de oro, aplicado sobre el vidrio, y que probablemente recubrió completamente las piezas en origen.

SUMMARY: In the excavations carried out inside the Collegiate Church of Gandia in 2001, some pieces of glass from funeral burials were found. Amount of several grave goods as chalices and mass wine jug, stands out above all two of which that are blue and decorated with white enamel. The pieces are similar to other Mediterranean Spanish glasses dated to the sixteenth century and with shapes and decoration as the Venetian fashion but with local stylistic characteristics.

The analysis of the materials composition of these pieces were performed by portable X-ray fluorescence energy dispersive (EDXRF), a technique developed by the Arqueometría group of ICMUV and has already been used successfully in the characterization of other Spanish "façon de Venise" glasses. These analyses make it possible to relate the composition of Gandia glasses with already analyzed. The measures do not require sampling and this is without any alteration of the pieces.

The results reveal the particularity of the pieces because, as well cobalt is detected as responsible of blue glass colour, important amount of lead, bismuth, nickel and arsenic are present. This composition is compatible with chronologies covering the fifteenth to seventeenth centuries. By other hand, gold is detected over the glass. Probably, these pieces were completely covered at source.

PALABRAS CLAVE: Vidrio español, vidrio azul, Colegiata de Gandia, XRF portátil.

KEY WORDS: Spanish glass, blue glass, Gandia Collegiate Church, portable XRF.

I. INTRODUCCIÓN

Contexto arquitectónico

La Colegiata de Santa María de Gandia es una iglesia con tipología propia del gótico mediterráneo que fue objeto de dos fases constructivas principales.

La construcción original de la iglesia data de la época de los Duques Reales Alfonso el Viejo y su hijo Alfonso el Joven (1380-1425). El templo constaba entonces de nave central cubierta con bóveda de crucería; cinco capillas ojivales en cada uno de sus lados -construidas entre los contrafuertes sobre los que descargan los arcos-, y portada lateral ornamentada con la imagen de Santa María de la Asunción en el ángulo de la ojiva y esculturas de ángeles músicos en una de las arquivoltas. Debajo de ese templo, se ha podido demostrar, gracias a la intervención arqueológica dirigida por Cristina Vidal desde 2001 al 2004 (Vidal 2006, 2008), que yacía la primitiva iglesia cristiana (siglo XIII).

La fase constructiva más moderna data de 1499, cuando la duquesa María Enríquez, regenta en el ducado de Gandia entre 1497 y 1511, promovió las obras de ampliación del edificio, prolongando la nave central con cuatro tramos más y cerrando el tramo ampliado con una innovadora

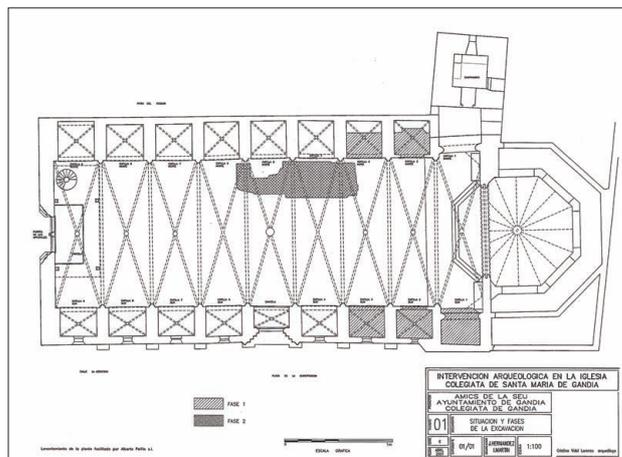


Fig. 1. Planta de la iglesia colegiata de Santa María de Gandia con la indicación del área excavada (Fases 1 y 2).

portada principal, conocida como puerta de los Apóstoles. Fue entonces también cuando el Papa Alejandro VI, según bula del 26 de Octubre, le otorga la condición de Colegiata.

Contexto Arqueológico

La excavación (Figura 1) se llevó a cabo en cinco capillas laterales de la iglesia. Uno de los hallazgos más interesantes en estas capillas fue la presencia de la cimentación de un muro perteneciente a la primitiva iglesia cristiana del siglo XIII. De dicha iglesia se conservan los cimientos de sus fachadas laterales así como los de dos columnas, por lo que podría tratarse de un templo de consi-



Fig. 2. Ajuar funerario del enterramiento de la Capilla 1 sur.



Fig. 3. Ajuar funerario del enterramiento 2 de la Capilla 2 norte.

derables dimensiones, presumiblemente de planta basilical.

La presencia de ese muro es constante en cada una de las capillas. Así por ejemplo, en la capilla 1 sur se conservaba entero, y junto a él apareció una tumba más tardía (s. XVI) de la que procede una vinajera de vidrio muy oscuro, cuya asa está diseñada con una decoración propia del siglo XVI, y un cáliz fragmentado con un elegante pie (Figura 2).

En la capilla 2 norte apareció una tumba de igual factura que la de la capilla 1 sur, que contenía dos fosas de inhumación. Una de ellas contenía un enterramiento singular (enterramiento 2), ya que el difunto, un individuo masculino adulto, fue enterrado con un ajuar consistente en un cáliz con el pie muy decorado y dos elegantes vinajeras de vidrio azul. Éstas poseen asas aún más estilizadas que la de la vinajera de la capilla 1 sur, y están ornamentadas con laticinios o hilos blancos en la base y en el extremo inferior del cuello, y aplicaciones de goterones también blancos, simulando aristas, en el resto del cuerpo de la pieza. Por la situación estratigráfica y el estilo renacentista de las piezas se trataría del entierro de un canónigo de la primera mitad del siglo XVII, o las postrimerías del siglo XVI (Figura 3).

En la capilla 3 norte se halló una fosa de inhumación en la que se enterró a un personaje religioso, a juzgar por los restos materiales que le

acompañaban: restos de un cáliz y de dos vinajeras de vidrio oscuro, una de ellas bastante completa y muy similar a la de la capilla 1 sur (Figura 4).

Durante la segunda fase de excavación en el interior del templo, se localizó otra fosa de inhumación en la nave de la iglesia, parcialmente arrasada, pero que aún contenía el enterramiento primario de un individuo adulto masculino, que sujetaba en sus manos un ajuar funerario consistente en un cáliz de vidrio de color verdoso así como dos vinajeras de ese mismo material, muy similares a las halladas en el osario de la capilla 1 sur, aunque de aspecto más tosco (Figura 5).



Fig. 4. Vinajera del enterramiento de la Capilla 3 norte.



Fig. 5. Ajuar funerario del enterramiento 3 (cuadrícula principal de la nave de la iglesia).

En definitiva, sin lugar a dudas todos estos restos fúnebres correspondían a varios canónigos de esta iglesia en vista de los ajuares vítreos compuestos por cálices y vinajeras de estilo renacentista con los que fueron enterrados, destacando especialmente entre ellos el del enterramiento 2 de la capilla 2 norte.

Contexto Histórico

A mediados del s. XV, la vidriería catalana experimenta una fuerte influencia de Venecia, tanto en los perfiles como en los procedimientos decorativos. Aunque con un mayor grosor en las paredes y menos transparencia, las obras catalanas rivalizan con las venecianas. No obstante, conservan características autóctonas: una mayor simplicidad de las formas y un acusado mudejarismo en la decoración. Cataluña produce vidrios, coloreados de verde, azul o amarillo. La máxima perfección se obtiene, sin embargo, en los vidrios esmaltados, generalmente con predominio de verdes y amarillos. A fines del s. XVI, la calidad artística empieza a decaer, pero la producción continúa hasta la industrialización definitiva en el s. XIX (Mataró).

En Valencia, la producción se atiene a las mismas características. Es destacable el renacimiento en el s. XVIII de los vidrios esmaltados, como consecuencia del establecimiento de vidrieros bohemios.

La importancia de las piezas encontradas en

la excavación de Gandia, en particular las dos vinajeras azules esmaltadas, reside en su singularidad ya que se conocen muy pocas piezas de este tipo en todo el mundo. Las piezas, que se conservan en el Museo de Prehistoria de Valencia, podrían enclavarse entre las piezas que se debieron realizar a finales del siglo XVI ya que presenta un tipo de decoración que a finales de este siglo se generaliza en el mediterráneo español (Gudiol 1936 y Maggi 1604). La forma de las vinajeras es típica de este periodo de máximo esplendor de los vidrios catalanes, aunque la decoración con laticinios es una técnica importada de Venecia. Estos cálices y vinajeras podían tener un uso específico en los enterramientos de personajes eclesiásticos como ajuares funerarios, ya que los que se empleaban en la Eucaristía debían ser preferentemente de oro o plata. Después del s. VIII, sucesivos Sínodos decretan la prohibición del uso de materiales que no fuesen plata u oro para la realización de cálices eucarísticos. Sin embargo, estas restricciones no se aplicaban a los llamados “cálices funerarios”, creados para el enterramiento de personajes eclesiásticos. El hecho de que las dos vinajeras azules encontradas en Gandia estuvieran recubiertas de oro podría estar relacionado con su uso simbólico.

La producción de vidrio esmaltado y dorado data del s. XIII en Egipto y Siria (Freestone *et al.* 1998). Se trata del vidrio islámico más conocido e históricamente más apreciado. En esta técnica decorativa tanto el oro como el esmalte se aplican sobre el vidrio usando un medio oleoso y un pincel o puntil. Se aplica después un tratamiento térmico para fijarlos al vidrio. El oro puede ser aplicado en

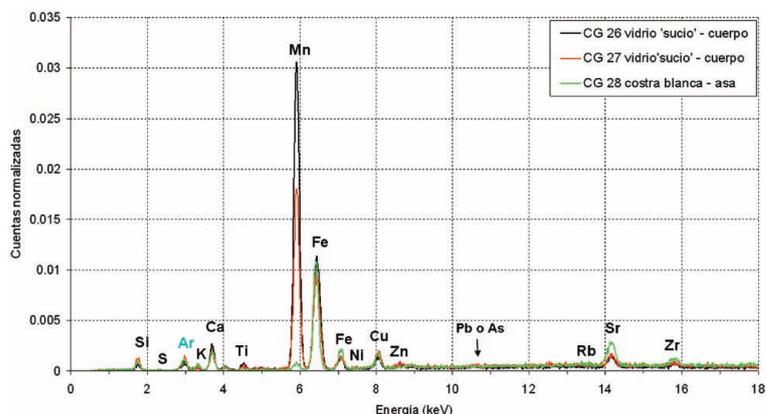


Fig. 6. Espectros de EDXRF tomados sobre 3 puntos de la superficie de la vinajera CG 24195.

frío en épocas posteriores como en las vinajeras aquí estudiadas (Henderson *et al.* 2004). Éstas serían un compendio de la influencia veneciana e islámica que se plasma en las piezas catalanas del siglo XV-XVI (Rodríguez 2000).

El estado de conservación de los fragmentos es bueno aunque debido al enterramiento presentan degradación superficial manifestada por medio de pequeñas descamaciones y el típico color oscurecido de los vidrios de excavación. La superficie se encuentra afectada por calcificaciones que provocan opacidades del color del vidrio y del esmalte.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Técnica de análisis elemental no destructivo

Se han analizado las 9 piezas completas o semicompletas que se muestran en las figuras 2-5, aunque se halló un gran número de fragmentos vítreos en todos los enterramientos. El análisis se ha realizado mediante Fluorescencia de rayos X portátil (EDXRF), con la siguiente configuración: Tubo de rayos-X XRG-35 (EIS, s.r.l.), ánodo de W, voltaje a 35kV, intensidad de 0.3 mA, colimador de Al/meta-crilato y diámetro de 2.5 mm. Detector de Si-PIN (Amptek XR-100CR) con un área efectiva de 5mm², espesor de 0.5 mm, refrigeración termoeléctrica, FWHM de 170eV y ventana de Be (espesor= 12.5 μm). Procesador de señal con amplificador Amptek PX2CR y analizador multicanal MCA Pocket 8000A.

Los análisis EDXRF se realizaron “in situ” en el Museo de Prehistoria de Valencia desplazando la instrumentación analítica hasta sus dependencias. El análisis EDXRF permite determinar los elementos químicos presentes en los vidrios, para ello se realizaron medidas sobre diferentes puntos del vidrio que fueran característicos de la matriz vítrea, puntos de esmalte y zonas doradas.

Los resultados obtenidos representando áreas normalizadas respecto al número total de cuentas de cada espectro, permiten establecer diferencias entre las composiciones de los vidrios encontrados (Murcia-Mascarós *et al.* 2009). En función de esas tipologías mostramos a continuación dichos resultados.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Análisis vinajera oscura CG 24195

En principio esta pieza se identificó como un vidrio azul, no obstante tras los análisis realizados fue posible determinar que la coloración no era azul sino marrón muy oscuro (Figura 6). De hecho los espectros EDXRF muestran la presencia de grandes cantidades de Mn, elemento característico de los vidrios decolorados que tras permanecer enterrados en contacto con tierras calizas viran al color marrón propio del manganeso en un estado de oxidación alto.

Análisis del ajuar funerario del enterramiento 3 de la cuadrícula principal (piezas: CG 24193, CG 24200 y CG 24194)

Las tres piezas de este ajuar se han analizado simultáneamente con el objetivo de establecer su origen común. El resultado de los diversos análisis determina que el cáliz no tiene la misma composición que las dos vinajeras que si fueron realizadas con las mismas materias primas (Figura 7). Ambos son vidrios sódico-cálcicos con una importante cantidad de hierro que le proporciona la coloración verdosa. La presencia de Mn podría tener un origen natural, ya que la proporción respecto al Fe es menor. La diferencia mas notable entre las vinajeras (puntos de análisis CG17, 18, 20 y 21) y el cáliz (puntos de análisis CG23 y CG24), radica en la cantidad de Ca (y por lo tanto de Sr) y K. Ambos son mayores en el cáliz lo que indica el uso de materias primas menos purificadas o de origen vegetal.

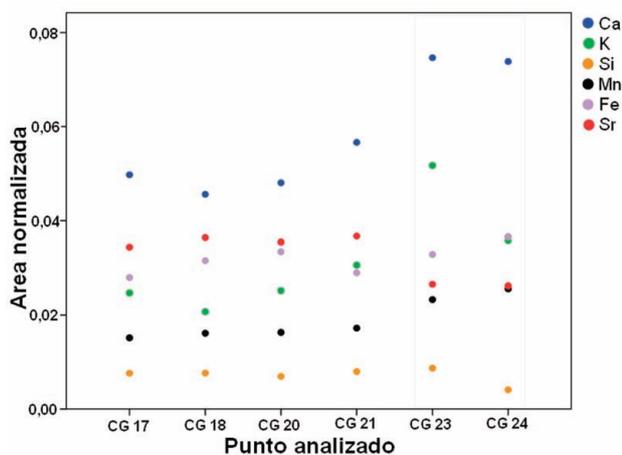


Fig. 7. Composición media de los vidrios del ajuar funerario del enterramiento 3. Los puntos CG23 y CG24 corresponden a zonas de análisis del cáliz, el resto de puntos corresponden a las dos vinajeras.

Análisis del ajuar funerario del enterramiento 2 de la Capilla 2 norte (piezas: CG 24196, CG 24197 y CG 24198)

Este ajuar está formado por las dos piezas más importantes de la serie, las dos vinajeras azules esmaltadas, y una copa de vidrio incoloro (Figura 3). Como en el caso anterior, el análisis de la composición (Figura 8) determina claramente el origen diferente del cáliz (puntos de análisis CG14 y CG15) respecto a las vinajeras (todos los demás

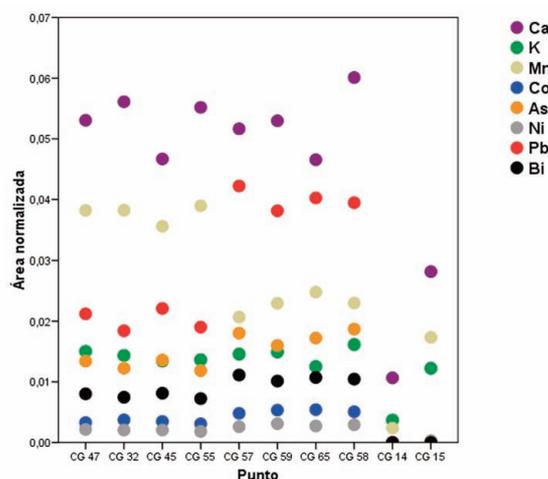


Fig. 8. Composición media de los vidrios del ajuar funerario del enterramiento 2 de la Capilla 2 norte. Los puntos CG14 y CG15 corresponden a zonas de análisis del cáliz, el resto corresponden a puntos de análisis en las vinajeras.

puntos de análisis). En este ajuar, la copa tiene una composición muy “pobre” en elementos, lo que indica la purificación previa de las materias primas empleadas en su elaboración. Esta composición es típica de los vidrios venecianos, además, la propia forma de la copa es típicamente veneciana por lo que podemos concluir que el cáliz no pertenece al ajuar y probablemente por su valor y belleza fue añadido al conjunto en el enterramiento.

Por otra parte, la composición de estas vinajeras azules presenta particularidades interesantes que pueden ayudar en el establecimiento de su cronología. Además del cobalto que es el responsable de la intensa coloración azul, los vidrios contienen cantidades apreciables de níquel, arsénico, bismuto y plomo.

Los minerales que pueden ser fuente de cobalto son muy variados, aunque en general se puede hablar de minerales que contienen, además de Co, As, como la cobaltina; Ni-Mn, como la asbolana; As-Ni, como las Gersdorfitas; incluso Ni-As-Bi como la badenita. Todos ellos se encuentran en minas españolas cuya explotación data en algún caso de épocas romanas (minas de la cordillera Prelitoral de la provincia de Tarragona), aunque se empleaban sólo para la extracción de plata. Las primeras referencias a explotaciones mineras de cobalto en España apuntan al Pirineo de Huesca, en el valle de Gistaín en torno a 1725.

Grupo	Minerales con	Cronología
1	Co-Sb?, Co-Cu?	Antes del s. XIII
2	Co-Pb-Zn-In	s. XIII - s. XV
3	Co-Ni	s. XV - s. XVI
4	Co-As-Ni-Bi	s. XVI - s. XVIII

Tabla 1. Componentes de los minerales a base de cobalto y su uso cronológico en la elaboración de vidrio azul (basada en Gratuze *et al.* 1996).

Sin embargo, en Europa es bien conocida desde s. XII la zona de las montañas de Erzgebirge (Sajonia) como fuente de pigmentos de cobalto a partir de minerales de plata y piritita. Así por ejemplo, los vidrieros venecianos importaron estos pigmentos para hacer vidrios azules hasta finales del s. XVII. El inicio de la producción industrial del pigmento de cobalto (*saffers*) caracterizado por un enriquecimiento en arsénico y en bismuto data de 1520 y sólo en 1780 se obtiene cobalto puro. En base a estos datos Gratuze (Gratuze *et al.* 1996) establece una cronología del vidrio azul en función del mineral, o los elementos principales que componen el mineral, empleado en su elaboración. Así establece 4 grupos de mineral de Co empleados en diferentes épocas para hacer vidrio azul (Tabla 1).

Estableciendo correlaciones entre los elementos característicos del vidrio azul es posible determinar cuál es la fuente de mineral más probable empleado en su obtención, y en consecuencia es posible establecer una cronología aproximada.

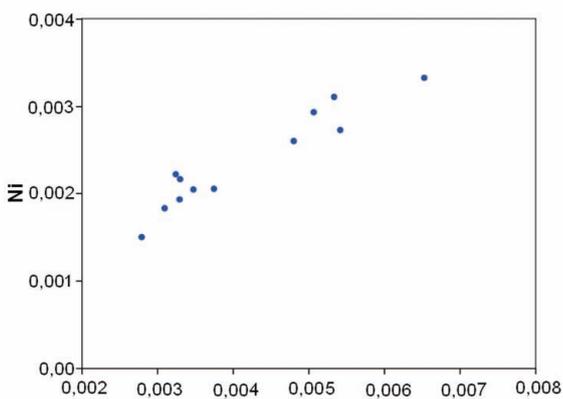


Fig. 9. Relación de áreas normalizadas de Co y Ni de los vidrios azules.

Así hemos realizados las posibles relaciones entre elementos (Co/Ni, Co/As, Co/Bi, Pb/Bi, etc). Se ha observado que las únicas correlaciones lineales son las que relacionan Co con Ni (Figura 9) y Pb con Bi (Figura 10).

Las elevadas cantidades de As respecto al Co y la falta de correlación lineal indican que la aportación de As puede estar asociada a su incorporación a la matriz vítrea como impureza de varios minerales como los minerales de Pb-Sn y de Co utilizadas como materia prima, como ya indicó Gratuze (Gratuze *et al.* 1996) en el análisis de vidriados azules procedentes de Valencia. La correlación Pb-Bi nos lleva a considerar que el Bi se incorpora como impureza del mineral de Pb utilizado.

En base a estos resultados y la cronología establecida por Gratuze, podemos concluir que las vinajeras azules encontradas en las excavaciones de la Colegiata de Gandia datan del s. XV-XVI, ya que su composición es coherente con esa época.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de una técnica no destructiva y no invasiva como la fluorescencia de Rayos X portátil, se ha demostrado como una herramienta de gran utilidad en la obtención de información sobre la composición y correlación cronológica de piezas arqueológicas de gran interés histórico. Las piezas analizadas han podido ser tipificadas y enmarcadas en su ámbito histórico no sólo desde el punto de vista arqueológico si no también por su composición.

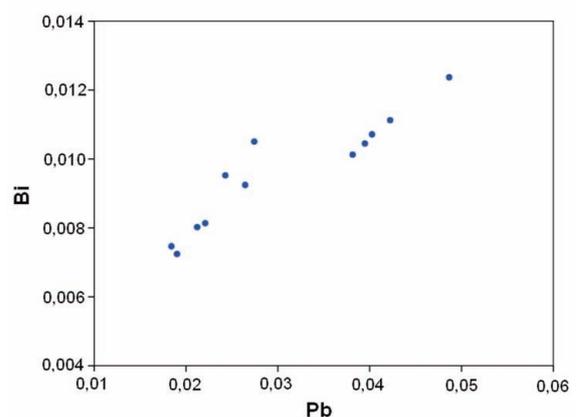


Fig. 10. Relación de áreas normalizadas de Pb y Bi de los vidrios azules.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Ministerio de Educación y Ciencia por el apoyo económico con el pro-

yecto Ref. MAT2006-04072. S.M.M. ha sido subvencionada con el contrato del programa Ramón y Cajal. Los autores agradecen al Museo de Prehistoria de Valencia que haya facilitado el acceso a las piezas.

BIBLIOGRAFÍA

- FREESTONE, I.C. y STAPLETON, C.P. 1998: "Composition and technology of Islamic enamelled glass of the thirteenth and fourteenth centuries". En R. Ward (ed.): *Gilded and enamelled glass from the Middle East*. British Museum Press. London: 122-128.
- GRATUZE, B.; SOULIER, I.; BLET, M. y VALLAURI, L. 1996: "De l'origine du cobalt: du verre à la céramique". *Revue d'Archéométrie* 20: 77-94.
- GUDIOL, J. 1936: *Els vidres catalans*, vol II, Editorial Alpha, Barcelona.
- HENDERSON, J.; MCLOUGHLIN, S.D. y MCPHAIL, D.S. 2004: "Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria". *Archaeometry* 46: 439-468.
- MAGGI, G. 1604: Bichierografía, *Libri quattro (anno 1604)*. Edic. de P. BAROCCHI. Florencia. 1977.
- MURCIA-MASCARÓS, S; ROLDAN, C; FALOMIR, C.; DOMENECH, I.; CARRERAS, J. y IBÁÑEZ, R. 2009: "A Non Destructive Analysis of Enamelled Glass in The Façon De Venise Discovered in Morella (Castellón, Spain)". *Proceeding del congreso internacional de la Association Internationale pour l'Histoire du Verre (Anvers, 2006)*. 2009 UPA (University Press Antwerp) Belgium. ISBN 978 90 5487 618 2: 493-499.
- RODRÍGUEZ GARCÍA, J. 2000: "Los vidrios esmaltados catalanes (siglos XVI y XVII)". *Espacio, Tiempo y Forma*, Serie Vil, H.^a del Arte, t. 13: 85-133.
- VIDAL, C. 2006: *Gandia desde la Seu. Una mirada al pasado*. CEIC Alfons el Vell de Gandia, ed. Gandia. ISBN: 84-96927-94-3.
- VIDAL, C. 2008: "Funerary traditions and death worship in the church of the Borgia in Gandia: interpretations from archaeology". *World Archaeology* 40, 3: 407-426.

EXAMEN ARQUEOMÉTRICO DE UN OBJETO DE HUESO DECORADO DE ÉPOCA ALMOHADE (SIGLO XIII D. C.) PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA DE LA CALLE SAN FERNANDO, SEVILLA

ARCHAEOLOGICAL STUDY OF AN ALMOHAD (13th CENTURY AD) DECORATED BONE OBJECT FROM THE SAN FERNANDO STREET ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION, SEVILLE

Mark A. Hunt Ortiz (1) / M.^a Ángeles Ontalba Salamanca (2) / Inés Ortega Feliú (3) / Blanca Gómez Tubío (4) / Eloisa Bernáldez Sánchez (5) / Pina López Torres (6)

(1) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla

(2) Dpto. Física Aplicada, Universidad de Extremadura

(3) Centro Nacional de Aceleradores, Sevilla

(4) Dpto. Física Aplicada III, Universidad de Sevilla

(5) Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía

(6) Arqueopro, Sevilla

RESUMEN: Se presentan los resultados del análisis mediante técnicas IBA de un hueso decorado de época Almohade (s. XIII d.C.) procedente de la excavación arqueológica llevada a cabo en la C/ San Fernando de la ciudad de Sevilla. El hueso trabajado, hipotéticamente un instrumento musical, se ha identificado como ulna de buitre. Con fines comparativos también se han analizado ulnas de buitres actuales. Los resultados muestran el posible uso de compuestos metálicos en las incisiones decorativas del hueso y, por otra parte, la presencia diferenciada de elementos pesados en los buitres actuales.

SUMMARY: The results of the analysis by IBA techniques carried out in an Almohad (13th century AD) decorated bone from the excavation in San Fernando street, city of Sevilla (Spain) are presented. The worked bone, hypothetically considered a musical instrument, has been identified as a vulture's ulna. For comparative purposes, contemporary vulture's ulnae have also been analysed. The results show the possible use of metal compounds in the decorative bone incisions and, secondly, a differentiated presence of heavy metallic elements in contemporary vultures.

PALABRAS CLAVE: Técnicas IBA, hueso decorado, buitre, ulna, Almohade, Sevilla.

KEY WORDS: IBA Techniques, decorated bone, vulture, ulna, Almohad, Seville.

I. INTRODUCCIÓN

Con motivo del proyecto de construcción de la Estación Puerta de Jerez de la Línea 1 del Metro de Sevilla se llevó a cabo en la Calle San Fernando de la ciudad de Sevilla la excavación arqueológica en un área de 1.760 m², en la que, aunque finalmente solo se realizó la Fase I de las tres previstas inicialmente, se documentaron niveles de registro arqueológico desde época Imperial Romana hasta época Contemporánea (Pozo *et al.* 2006; Borja *et al.* 2008).

Concretamente de época medieval islámica se documentaron diversas fases, una de ellas co-

rrespondiente a época Almohade, datada en un arco cronológico que se extiende desde finales del siglo XII a la primera mitad del siglo XIII d. C. En el escaso espacio que pudo ser estudiado al interior de la muralla islámica se situó el Corte-11 (Figura 1), en cuyo ámbito se excavó la unidad estratigráfica denominada UE 1194, correspondiente a un pequeño pozo de aprox. 1 m de diámetro, que rompía estratos anteriores, y que fue utilizado como basurero (Figura 2). En su interior se excavó un amplio repertorio cerámico, de diversa tipología (jarros, ataifores, jofainas, ollas y cazuelas de costillas, anafes...) (Figura 3), datado en la primera mitad del siglo XIII d. C.



Fig. 1. Vista aérea de la Calle San Fernando: Localización (marcado en rojo) del Corte-11 en el extremo Oeste del área de la intervención arqueológica.

Junto al conjunto cerámico se excavó un objeto de hueso con decoración incisa y múltiples perforaciones circulares (C-11/UE-1194/1452) que, por paralelos próximos así considerados, fue catalogado inicialmente como un posible instrumento musical.

II. DESCRIPCIÓN DEL HUESO DECORADO

El hueso decorado (C-11/UE-1194/1452) tiene una longitud de 265 mm, con anchura máxima proximal de 20'91 mm, anchura máxima distal de 13'99 mm y una anchura mínima de la diáfisis de 12'19 mm. No conservaba las epífisis distal y proximal, que habían sido seccionadas para su preparación (Figura 4). Presentaba una de las caras laterales decoración mediante incisiones reticulares separadas por líneas transversales y en la diáfisis un mínimo de 25 perforaciones con la siguiente distribución: dos por cada lado en posición



Fig. 2. UE 1194, basurero islámico, en proceso de excavación.

distal y 10 y 11 en cada cara repartidos en grupos de 3: 5: 2 y 3:5:3 respectivamente.

El estudio arqueozoológico determinó que el hueso empleado correspondía a la ulna (cúbito) derecha de un buitre.

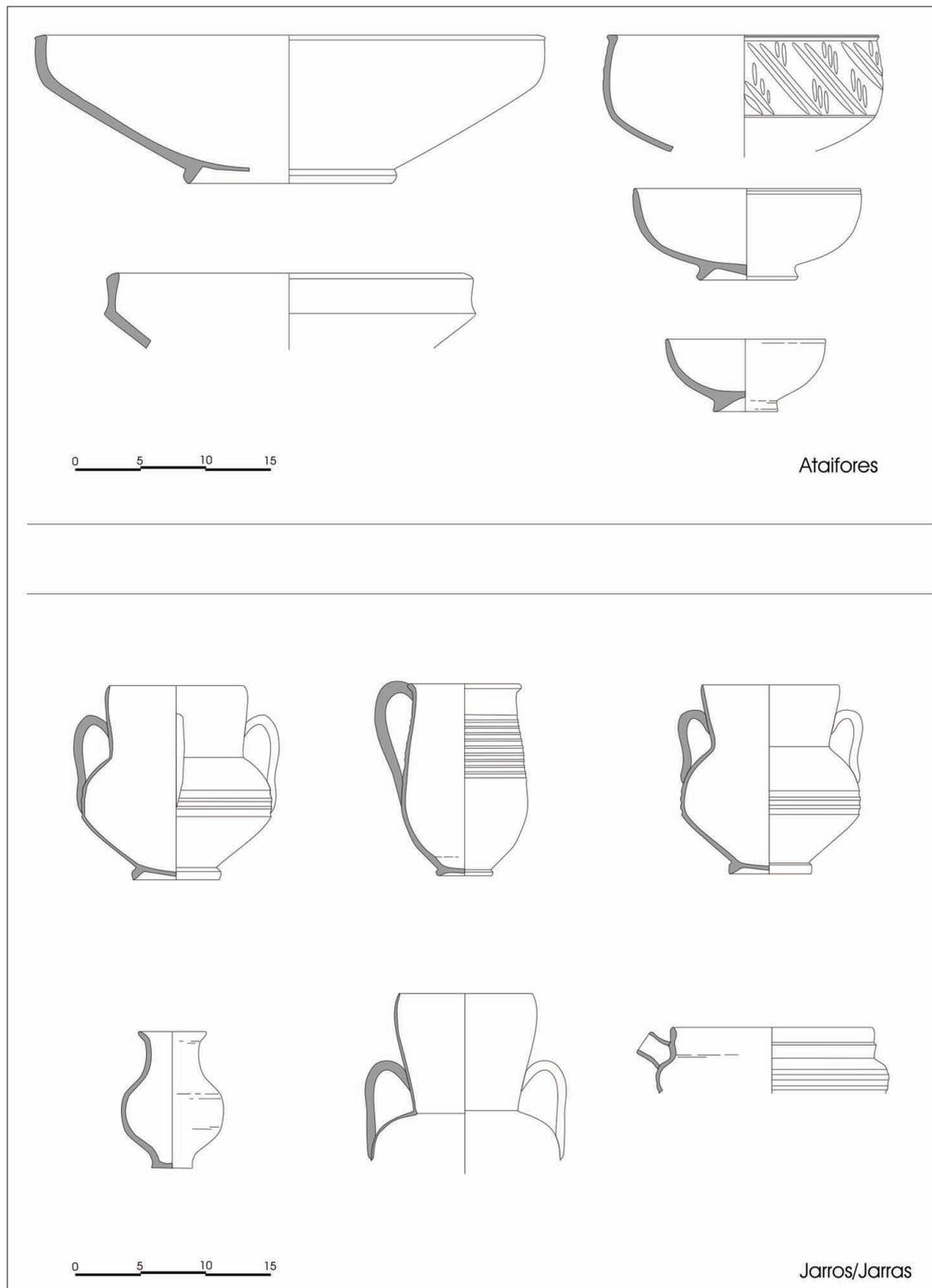


Fig. 3. Ejemplares del tipo cerámico Ataifores y Jarro/Jarra de la UE 1194.

Puesto que el hueso carecía de diáfisis, que permiten una mejor identificación, para la determinación de la especie a la que correspondía el hueso empleado (ya que podía corresponder tanto a buitre negro como a buitre leonado), se solicitó y obtuvo el préstamo de los esqueletos de dos ejem-

plares de la colección de la Estación Biológica de Doñana (CSIC):

-Buitre negro (*Aegypius monachus*) signatura EBD 22979, recogido en junio de 1999 en La Contienda de Aroche (Sierra de Huelva).



Fig. 4. Hueso decorado (C-11/UE-1194/1452).

-Buitre leonado (*Gyps fulvus*) signatura EBD 18620, recogido en el año 1991 en el entorno del Parque Nacional de Doñana (Huelva).

III. POSIBLE FUNCIONALIDAD

Como se ha referido, la posible funcionalidad como instrumento musical del objeto de hueso se estableció en una primera instancia por comparación con un objeto muy similar, de procedencia desconocida pero con decoración epigráfica, que se encontraba depositado en el Museo Arqueológico de Sevilla, que estaba catalogado como flauta y datado en los siglos XII-XIII d. C. (Metrópolis Totius Hispaniae 1999: 200-201). Aunque se indica que la flauta del Museo fue realizada “con la tibia

de un ciervo” su revisión permitió identificar el hueso también como una ulna de buitre.

El uso de huesos de aves, y de buitre concretamente, para la fabricación de instrumentos de viento de distinta tipología tiene una tradición milenaria, fuera de la Península Ibérica (Zhang *et al.* 1999) y en la Península desde épocas prehistóricas (Martí Oliver *et al.* 2001) hasta épocas romana, islámica y posteriores (Moreno García *et al.* 2005).

En el caso del ejemplar almohade que ahora se estudia, la existencia de tan elevado número de perforaciones (mínimo de 25) en su diáfisis hace difícil entender su funcionamiento como instru-

mento musical de viento, aunque se conocen ejemplos de flautas con elevado número de perforaciones en las que se utilizan membranas, como en el caso del tipo chino denominado *dizi* (Tsai 2004).

IV. OBJETIVO, MUESTRAS ANALIZADAS Y MÉTODO

Planteando la hipótesis de que parte de las perforaciones pudieran haber estado ocluidas, total o parcialmente, se procedió al análisis del hueso decorado (C-11/UE-1194/1452) (Autorizada por la Dirección General de Bienes Culturales, Junta de Andalucía, de fecha 7/4/2006), con el objetivo de identificar trazas de posible material utilizado para la hipotética oclusión de las perforaciones, lo que permitiría, entre otros aspectos, explicar el funcionamiento del instrumento y su métrica musical.

Además de este hueso decorado procedente de la excavación de la Calle San Fernando, se analizaron, en las mismas condiciones experimentales, las ulnas de los buitres actuales de la Colección de la Estación Biológica de Doñana y una muestra de contraste. Así, las muestras estudiadas, con sus respectivas denominaciones, fueron las siguientes:

-Flauta. Hueso arqueológico decorado (C-11/UE-1194/1452)

-Hueso A. Ulna de buitre negro (*Aegyptus Monachus*-EDB 22979)

-Hueso G. Ulna de buitre leonado (*Gyps Fulvus*- EBD 18620)

-Hueso D. (Muestra contraste para pruebas iniciales) Fragmento de hueso arqueológico animal indeterminado de la colección del Departamento Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla.

Todos los objetos han sido analizados en el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) mediante técnicas IBA (*Ion Beam Analysis*), técnicas de origen nuclear basadas en el uso de aceleradores de partículas. Concretamente fueron irradiadas con una haz de protones de 2.8 MeV de energía y 1 nA de intensidad en la línea de haz externo asociada al acelerador Pelleton de 3 MV del CNA. Las características de este dispositivo son especialmente idó-

neas para el análisis no destructivo del excepcional objeto arqueológico al no ser necesaria la extracción de muestra (no existe limitación de tamaño de la muestra a analizar) ni provocar daño el haz por calentamiento en su superficie (la energía depositada por el haz se disipa en el aire).

Con objeto de determinar la composición del objeto, durante la irradiación, que afecta a un área de 80µmØ, se utilizó un detector LEGe con deflector magnético situado a 45mm de la muestra y con un ángulo de 52º respecto a la normal a la muestra para recoger los rayos X emitidos por la pieza (técnica PIXE, *Particle Induced X-ray Emission*) y un detector HPGe situado a 205mm y a 90º, con el cual se recogen los rayos gamma emitidos por la muestra (técnica PIGE, *Particle Induced X-ray Emission*).

V. RESULTADOS ANALÍTICOS

Los análisis fueron realizados en diversos puntos del objeto arqueológico y en el resto de las muestras (Tabla 1). La detección de las emisiones inducidas por los protones ha permitido cuantificar la presencia de Ca, P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Ti, Sr, Ba y Pb, elementos con los que se ha determinado la composición de las áreas analizadas (Gráfico 1).

Además de los elementos mayoritarios propios de la composición de los huesos de ave, Ca y P (Taylor *et al.* 1960), respecto a los elementos minoritarios determinados, se constató la mayor proporción de Mn, Cu, y Pb en el hueso arqueológico (Gráfico 2). Por otra parte, la muestra G (buitre leonado) mostró una concentración más elevada de Zn que en el resto de las muestras y más elevada en Mn, Fe y Pb que la muestra A (buitre negro).

En puntos concretos del hueso arqueológico se determinó una concentración significativa de Mn, Cu, y especialmente de Pb, con concentraciones en el surco (punto 1-4: 0.23% Pb) y en la intersección entre dos surcos (Punto 1-5: 0.53% Pb), cuando en el resto de la flauta no supera el 0.10% Pb.

En vista de estos primeros resultados disponibles, se realizó una nueva serie analítica en puntos concretos del objeto arqueológico, mejorando la monitorización de la dosis de protones y la detección de

Muestra	Espectro	Notación	Descripción
Flauta	1205068	01-ene	Zona limpia y lisa
Cara 1 labrada con 2 orificios pequeños	1205069	01-feb	Próximo a orificio
	12050610	01-mar	Próximo a orificio
	12050611	01-abr	Intersección surcos
	12050612	01-may	Sobre surco
	12050613	01-jun	Zona lisa
	12050614	01-jul	Lisa entre surcos
Flauta	12050615	02-ene	Zona lisa, lejos orificio
Cara 2 lisa, tiene 2 orificios pequeños 5 orificios en la zona central (el último roto) y 3 orificios	12050616	02-feb	Próximo orificio superior
	12050617	02-mar	Mancha cercana al esp. 16
	12050618	02-abr	Próximo orificio superior
	12050619	02-may	Entre orificios centrales
	12050622	02-jun	Entre orificios centrales
	12050623	02-jul	Entre orificios centrales
	12050624	02-ago	Entre orificios inferiores
	12050625	02-sep	Zona de fractura
Flauta	12050626	04-ene	Zona lisa inferior
Cara 4 lisa (opuesta a 1) con 2 orificios	12050628	04-feb	Próxima a orificio
	12050629	04-mar	Próxima a orificio
Cara 3 lisa, opuesta a la 2	12050630	03-ene	Entre orificios superiores
	12050631	03-feb	Entre orificios inferiores
Hueso animal D	12050632	D	
Hueso buitre G	1205064	G-1	
Hueso buitre G	1205065	G-2	sobre círculo
Hueso buitre A	1205067	A	

Tabla 1. Puntos de análisis realizados en el hueso arqueológico decorado y en el resto de muestras.

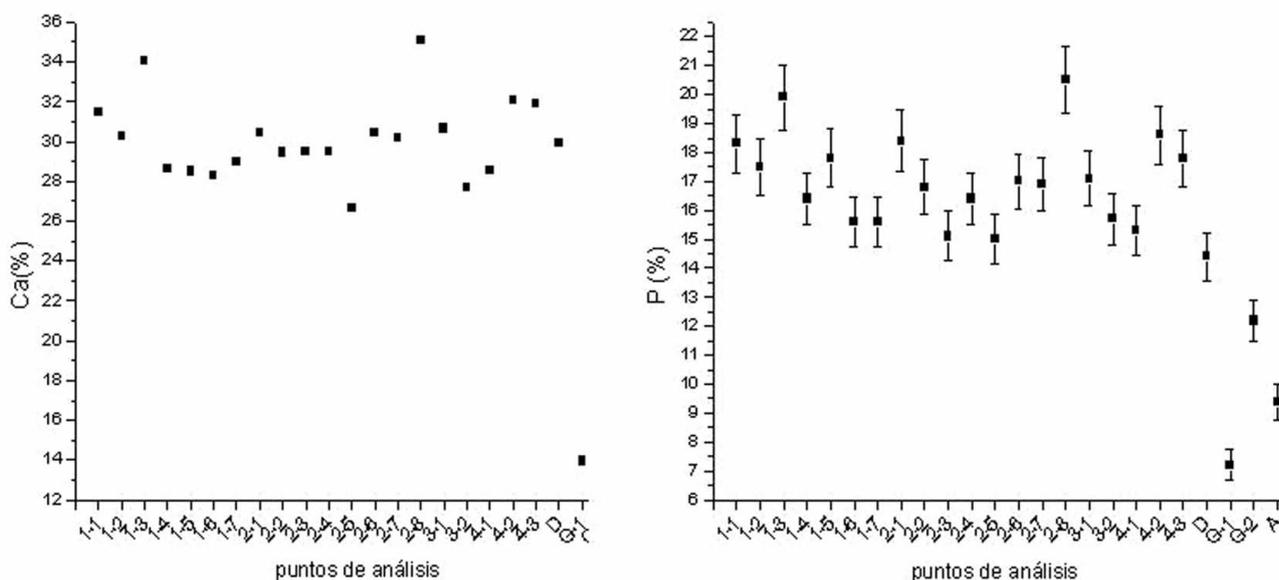


Gráfico 1. Concentraciones (% en peso) de Ca y P en las muestras analizadas.

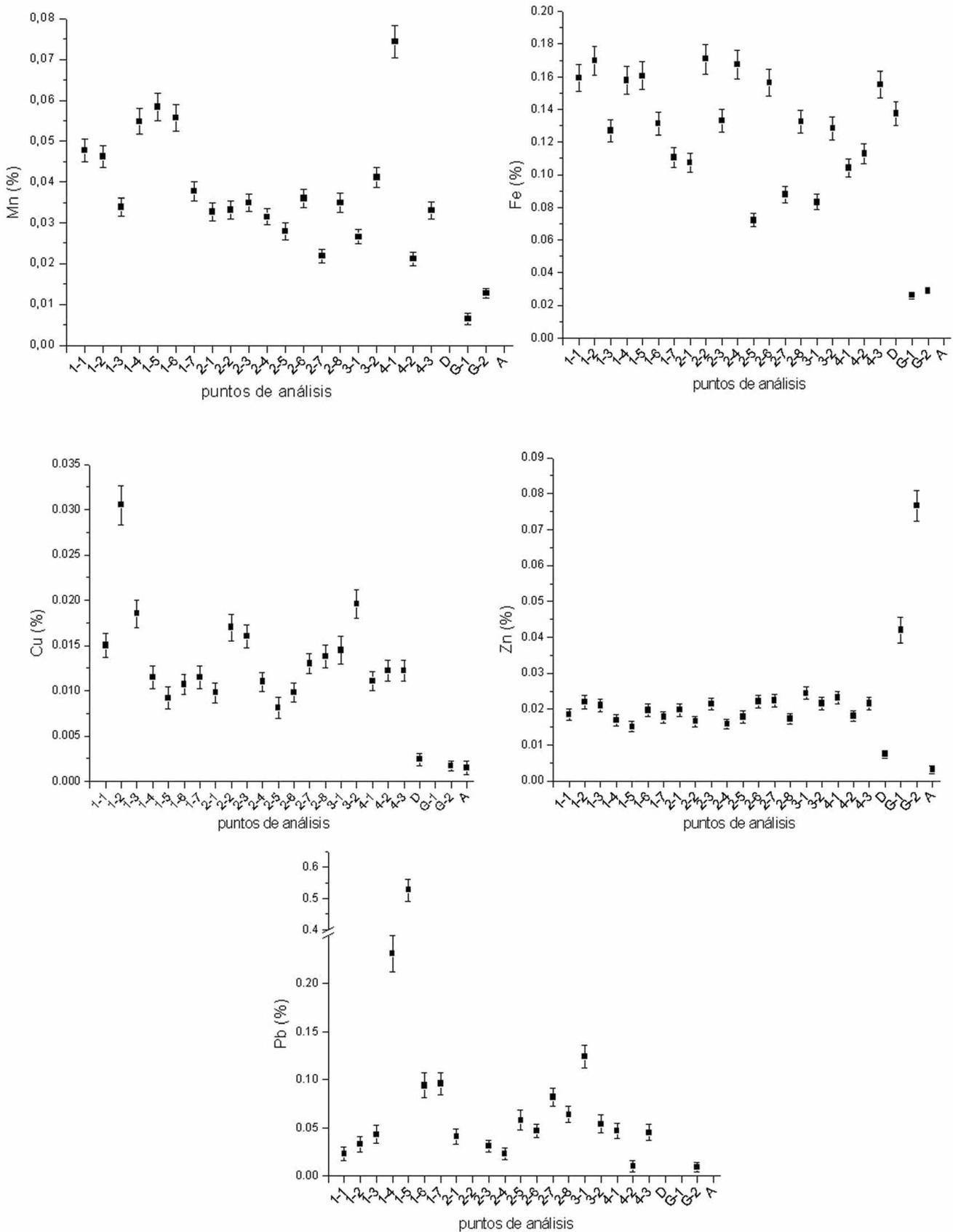


Gráfico 2. Concentraciones (% en peso) de Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en las muestras analizadas.

Elemento	Liso	Incisión diagonal	Cruce de incisiones	Incisión vertical	Material en incisión
P	6.6	8.3	10.5		1.6
K				1.8	1.9
Ca	32.7	34.9	43.3	14.8	19.6
Ti	0.03			0.44	0.33
Mn	0.36	0.66	0.21	0.25	3.34
Fe	0.41	0.69	0.8	2.66	3.04
Cu	0.029	0.026	0.041	0.011	0.032
Zn	0.074	0.057	0.077	0.017	0.041
Sr	0.11	0.045	0.077	0.085	
Pb	0.28	0.089	0.081	1.7	1.9

Tabla 2. Resultados (% en peso) de los puntos de análisis del hueso arqueológico decorado (C-11/UE-1194/1452).

trazas, con medidas en las zonas lisas no decoradas, y en las zonas de líneas incisas que conforman la decoración (Figura 5), para determinar compositiva-

mente las áreas concretas de las concentraciones previamente detectadas (Tabla 2) (Gráfico 3).

De los resultados obtenidos se puede destacar la composición similar de los puntos realizados en las incisiones diagonales (reticulares) y la diáfisis sin decorar de la flauta. Sin embargo, el punto analizado en la incisión transversal muestra una mayor concentración en K (no se detectó en los anteriores puntos), Ti, Mn, Fe y Pb. En el punto de las concreciones detectadas en una de las incisiones verticales, la concentración de Mn llegó al 3.34%.

VI. CONCLUSIONES

El objeto de hueso decorado que se ha examinado arqueométricamente por técnicas IBA resulta excepcional tanto por el soporte utilizado (ulna-cúbito-de buitre) como por la decoración que presenta. Tradicionalmente, para la fabricación de aerófonos se ha utilizado este hueso concreto de ave, la ulna, por adecuación de su forma, la reducida modificación que necesita y sus finas paredes (Leaf 2005:22). En contextos medievales europeos, los

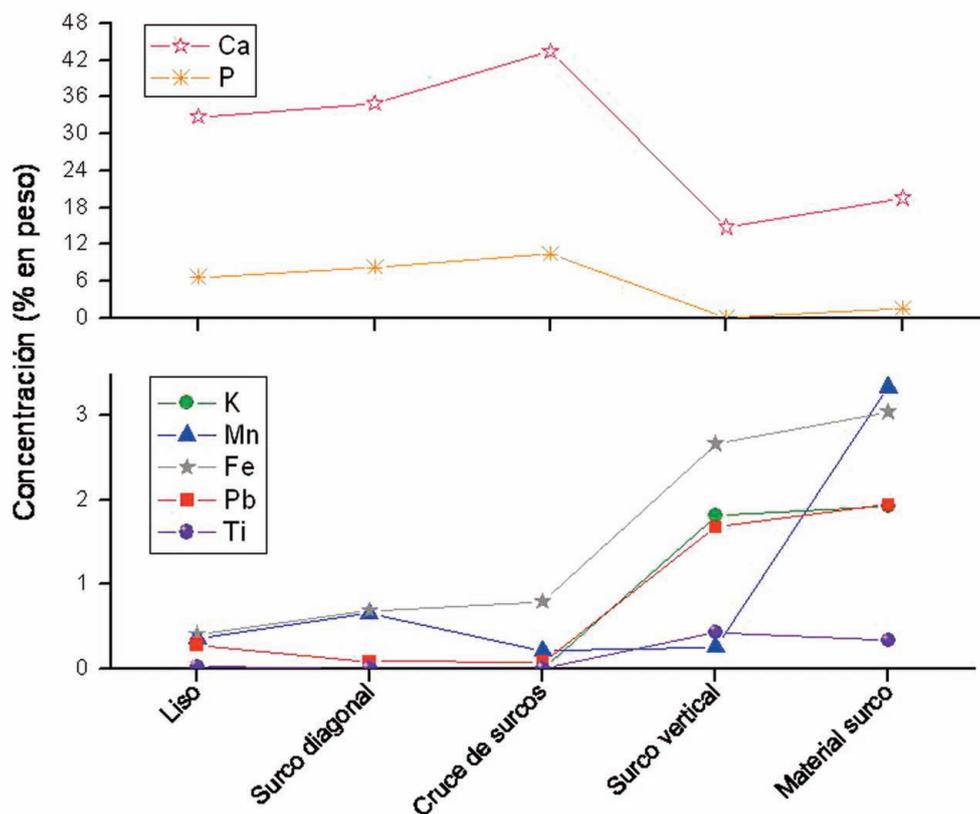


Gráfico 3. Concentraciones de los elementos detectados en el hueso arqueológico decorado y en las incisiones (surcos).

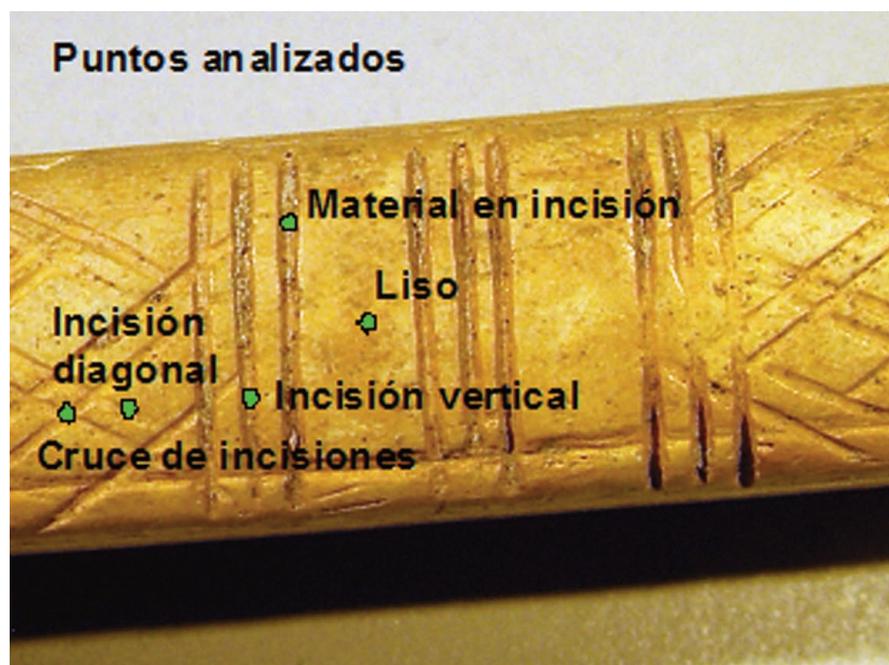


Fig. 5. Puntos de análisis del hueso arqueológico decorado (C-11/UE-1194/1452).

ejemplares de flautas de hueso decoradas son excepcionales y se han documentado en contextos que evidencian alto rango social (Leaf 2005: 23).

Los resultados analíticos, si bien no aportan datos claros que permitan profundizar sobre la posible funcionalidad del hueso arqueológico decorado, apuntan hacia la utilización de compuestos con contenidos relevantes de Mn, Fe, Pb y K como relleno, decorativo probablemente, en las incisiones transversales que delimitan las áreas reticuladas.

Por otra parte, algunos de estos elementos podrían estar relacionados con el proceso de manufactura y tratamiento del hueso, siendo habitual el empleo de cenizas, que tiene como uno de los componentes principales el K (Tylecote *et al.* 1977: 311), para pulir el hueso o blanquearlo tras la perforación de los orificios (Anoyanakis 1979: 148).

Aunque relevante, el estudio realizado se

debe complementar con otras técnicas que permitan la detección de elementos orgánicos. En este contexto resulta de capital importancia caracterizar el contexto de deposición de las piezas, para lo que habría que establecer protocolos de actuación para asegurar la información que portan tanto el objeto en sí como el entorno en que fue excavado.

Respecto a las muestras comparativas de buitres estudiadas, la presencia destacada y exclusiva de Zn en la ulna del buitre leonado (*Gyps fulvus*), recogido en 1991 en el entorno del Parque Nacional de Doñana, antes de contaminación masiva por la rotura de la presa minera en 1998 (Cabrera *et al.* 1999), se podría relacionar con la contaminación natural de las marismas, por la movilidad del Zn a través de los ríos Agrio y Guadimar, producida por la actividad minera histórica desarrollada en las minas de Aznalcóllar (Madejón *et al.* 2006), en donde el Zn es uno de los elementos mayoritarios del depósito mineral (Hunt Ortiz 2003: 104).

BIBLIOGRAFÍA

- ANOYANAKIS, F. 1979: *Greek folk musical instruments*. National Bank of Greece. Atenas
- BORJA, F.; HUNT, M.A.; UBERA, J.L.; ZAZO, C.; DABRIO, C.J.; GOY, J.L.; BARRAL, M.A.; LLERGO, Y. y BORJA, C. 2008: "Estudio geoarqueológico de la Vega de Sevilla. Reconstrucción paleogeográfica del sector interno del estuario del Guadalquivir durante el Holoceno". En S. Rovira Llorens; M. García-Heras; M. Gener Moret e I. Monetro Ruiz (eds.): *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. CSIC: 87-96.
- CABRERA, F.; CLEMENTE, L.; DÍAZ BARRIENTOS, E.; LÓPEZ, R. y MURILLO, J.M. 1999: "Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood". *The Science of the Total Environment* 242: 117-129.
- HUNT ORTIZ, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula*. BAR International Series 1188. Archaeopress, Oxford.
- LEAF, H. 2005: "Flautas medievales de hueso en Inglaterra". *Txistulari* 203: 22-25.
- MARTÍ OLIVER, B.; ARIAS-GAGO DEL MOLINO, A.; MARTÍNEZ VALLE, R. y JUAN-CABANILLES, J. 2001: "Los tubos de hueso de la Cova de l'Or (Beniarrés, Alicante). Instrumentos musicales en el Neolítico Antiguo de la Península Ibérica". *Trabajos de Prehistoria* 58, nº 2: 41-67.
- MADEJON, P.; MURILLO, J.M.; MARANON, T.; ESPINAR, J.L. y CABRERA F. 2006: "Accumulation of As, Cd and selected trace elements in tubers of *Scirpus maritimus* L. from Doñana marshes (South Spain)". *Chemosphere* 64, 5: 742-748.
- METROPOLIS TOTIUS HISPANIAE 1999: 750 Aniversario de la Incorporación de Sevilla a la Corona Castellana. Sevilla: 200-201.
- MORENO-GARCÍA, M.; PIMENTA, C. y GROS HERRERO, M. 2005: "Musical vultures in the Iberian Peninsula: sounds through their wings". En G. Grupe y J. Peters (eds.), *Feathers, Grit and Symbolism. Birds and Humans in the Ancient Old and New Worlds*. *Documenta Archaeobiologiae* 3: 329-347.
- 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.
- TAYLOR, T. G.; MOORE, J. H. y HERTELENDY, F. 1960: "Variations in the mineral composition of individual bones of the skeleton of the domestic fowl". *British Journal of Nutrition* 14: 49-57.
- TSAI, C.G. 2004: "The timbre space of the Chinese membrane flute (dizi): Physical and psychoacoustical effects". *148th Meeting of the Acoustical Society of America*. San Diego.
- TYLECOTE, R.F.; GHAZNAVI, H.A y BOYDELL, P.J. 1977: "Partitioning of trace elements between the ores, fluxes, slags and metal during the smelting of copper". *Journal of Archaeological Sciences* 4: 305-333.
- ZHANG, J.; HARBOTTLE, G.; WANG, C. y KONG, Z. 1999: "Oldest playable musical instruments found at Jiahu early Neolithic site in China". *Nature* 401: 366-368.

SESIÓN ANÁLISIS DE MATERIALES

METALES



ANÁLISIS MEB E INTERPRETACIÓN DE LA ORFEBRERÍA FENICIA DE LES CASETES (VILLAJOSYA, ALICANTE)*

SEM ANALYSIS AND INTERPRETATION OF THE PHOENICIAN GOLDWORK FROM LES CASETES (VILLAJOSYA, ALICANTE)

Alicia Perea Caveda (1) / José Ramón García Gandía (2)

(1) *Grupo Arqueometal. Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis*

Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC

(2) *Museo de Finestrat. Finestrat, Alacant*

RESUMEN: *Estudio microscópico y microanalítico de los ajuares de oro en esta necrópolis cuya ocupación se fecha entre finales del siglo VII y mediados del VI a.C. Se trata de un conjunto único por su calidad técnica y por sus características tipológicas e iconográficas, lo que nos permite plantear la existencia de un taller fenicio en la zona.*

SUMMARY: *Microscopic and microanalytical study of the gold funerary objects from this necropolis dated to between the end of the 7th century BC and the middle of the 6th century BC. It is a unique set of objects due to its high quality technology and the typological and iconographical characteristics which allow us to put forward the existence of a Phoenician workshop in this area of the Iberian peninsula.*

PALABRAS CLAVE: *Arqueometalurgia, análisis SEM-EDX, orfebrería fenicia, Península Ibérica.*

KEY WORDS: *Archaometallurgy, SEM-EDX analysis, phoenician goldwork, Iberian peninsula.*

I. LA NECRÓPOLIS ORIENTALIZANTE

La necrópolis de Les Casetes (García Gandía 2009) se localizó en el perímetro urbano de La Vila Joiosa, a ambos lados de la carretera AP 1731, que une la población con la localidad de Alcoy. Sus coordenadas geográficas UTM son 30 S YH 414 664 y 30 S YH 414 665 en sus extremos norte y sur. Es una necrópolis de cremación, con tumbas excavadas en el nivel geológico cuya tipología puede encuadrarse en cuatro grupos: hoyos, fosas, estructuras simples y estructuras complejas. El yacimiento tiene una extensión de unos 900 m².

Las tumbas en hoyo tienen forma redondeada y no presentan tratamiento alguno. Son simples agujeros en el suelo de pequeñas dimensiones, en torno a los 30-40 cm de diámetro, donde la deposición de los restos humanos se hace directamente, sin orden aparente; por lo general

no contienen elementos de ajuar. Las tumbas en fosa tienen forma rectangular con las esquinas redondeadas, presentando las paredes y cubiertas enlucidas de barro amarillo. Sus dimensiones son variadas, desde los 40x20 cm de las fosas más pequeñas, a los 180x60 cm de las más grandes. Se ha observado que, en la mayoría de los casos, el tamaño es directamente proporcional al contenido de los ajuares, ya que las tumbas más grandes suelen tener armas y las más pequeñas únicamente elementos de adorno.

Dentro de las estructuras simples agrupamos las tumbas que presentan cubierta formada por una piedra plana, una cista de adobes, y una pseudocista. Dentro de las estructuras complejas incluimos un túmulo rectangular, construido con piedras de gran tamaño, una tumba de cámara, y una cista con cenefa de cantos redondeados de distintos colores. Según la deposición de los restos se

* Este trabajo se integra dentro del Proyecto de Investigación "Bases para una investigación arqueométrica y técnica sobre metalurgia en la Prehistoria y Antigüedad" del Plan Nacional I+D+i (ref.: HUM2006-06250/HIST), dirigido por A. Perea, en el marco del Programa CONSOLIDER INGENIO 2010 (CSD-TCP) que financia el Ministerio de Ciencia e Innovación.

distinguen cuatro grupos. En primer lugar, las cremaciones individuales secundarias, lo que implica la existencia de un *ustrinum* que todavía no hemos localizado. En segundo lugar, las cremaciones individuales primarias o *busta*, dato que hemos corroborado gracias a los estudios antropológicos. En tercer lugar, consideramos depósitos indeterminados una serie de fosas con deposición de cenizas, carbones y elementos de ajuar que no contenían restos humanos. En último lugar, localizamos un fuego de forma redondeada en el interior de una cenefa de cantos que formaban líneas en zigzag.

Las tumbas que contienen ajuar representan el 71% y sus objetos responden a cuatro categorías: adornos, armamento, cerámica importada y elementos de carácter ritual. El grupo más numeroso son los adornos, seguido por las armas y la cerámica. Destacamos la asociación entre adornos y cerámica. Los objetos de bronce son los más numerosos, seguido por las armas, la cerámica, los elementos de oro y plata, y las cuentas de pasta vítrea. La cerámica local, realizada a mano, se ha documentado sólo en dos ocasiones. Las tumbas que contenían oro son las siguientes:

-*Tumba 3*: fosa con laja de piedra trabajada. Debajo de esta piedra apareció un amuleto de oro, y debajo de éste, la fosa con la cremación y el resto del ajuar formado por un plato de ala ancha, un anforisco de pasta vítrea y varias cuentas de collar.

-*Tumba 10*: fosa de planta rectangular con esquinas redondeadas y paredes recubiertas de barro amarillo. La cubierta es de tierra amarillenta apisonada de unos cuatro centímetros de potencia tras la cual aparece el estrato de la cremación con los restos humanos. El ajuar estaba formado por dos puntas de lanza alteradas por el fuego, dos pendientes de oro cerrados, tipo nezem, siete cuentas de collar —cuatro de hueso, una de pasta vítrea y dos de oro— y un fragmento de colgante amuleto de oro. El ajuar no presentaba orden aparente y se encontró a distintos niveles de cota.

-*Tumba 12*: fosa de tendencia rectangular con esquinas redondeadas y paredes recubiertas de barro amarillo. Cerramiento con laja de piedra aplanada, rodeada de una estructura de mampos-

tería rectangular, a modo de cista. En el ajuar: cinco cuentas de oro, tres de hueso y un amuleto udyat de esteatita, así como varios fragmentos de huevo de avestruz.

-*Tumba 15*: fosa de grandes dimensiones, planta rectangular con esquinas redondeadas y paredes recubiertas de barro amarillo. Cubierta de tierra apisonada. Su ajuar consistía en una fíbula fragmentada, una cuenta de collar de pasta vítrea fragmentada y una cuenta de oro.

-*Tumba 16*: fosa rectangular, con ocho adobes rectangulares cubriendo las paredes. Bajo una capa de barro endurecido se encontró un cooking Pot con engobe rojo en el cuerpo y en el interior a la altura del borde, bajo el que se encontró la cremación y un conjunto de piezas de oro formado por dos amuletos y varias cuentas de collar.

Las estructuras funerarias y los ajuares en general, incluido el oro, sugieren conclusiones que deberán ser contrastadas en el futuro:

1. Relaciones con la Meseta, que se venían manifestando desde el Bronce Tardío, a través de una serie de materiales que configuran una vía de penetración en doble sentido.
2. Conexiones con las zonas del sudeste y el área tartésica andaluza, que llegan hasta el levante vía Cástulo.
3. Una tercera vía de conexión con el Mediterráneo central y/o oriental, posiblemente vía centros fenicios occidentales, como La Fonteta, o Ibiza.
4. Rito de incineración en la totalidad de las sepulturas, con deposición de los restos óseos directamente sobre el fondo de la fosa u hoyo en las cremaciones secundarias.

En cuanto a la cronología, los enterramientos más antiguos deben situarse hacia el último cuarto del siglo VII a. C., caso de las tumbas 3, 4, 9, 16 y 17. Las tumbas 5, 6 y 18 corresponderían a una fecha en torno al primer cuarto del siglo VI a.C., mientras que las tumbas 10, 12, 20, 21 y 22, po-

drían fecharse hacia la mitad de la centuria, con argumentos basados en la situación y la comparación entre ajuares, ya que no creemos que exista un periodo de inutilización de la necrópolis.

Los objetos de oro

Se han recuperado 24 piezas de oro procedentes de las cinco tumbas antes mencionadas: T3, con 8 objetos. T10, con 5 objetos. T12, con 5 objetos. T15, con 1 objeto. T16 con 5 objetos. El porcentaje más alto corresponde a las cuentas de collar, con un total de 17 seguras, además de una gota de fusión que, por el tamaño, podría corresponder a una cuenta fundida en la pira funeraria. En segundo lugar se sitúan 3 colgantes amuleto completos y el fragmento de un posible cuarto. Finalmente, hay dos pendientes cerrados tipo *nezem*.

-*Las cuentas*: se agrupan en torno a tres tipos bien diferenciados según la morfología y técnica de fabricación: laminares, en filigrana y separadora. Las fabricadas a partir de una lámina son objetos con simetría de revolución, de perfil curvo convexo, con tendencia a la esfericidad; todas menos dos llevan un hilo soldado rematando los bordes, que suele ser liso de sección circular, y sólo en un caso (CSET-21) encontramos hilo de sección cuadrangular torsionado sobre sí mismo; en otro caso (CSET-06) la lámina se molduró con estrías para dar a la superficie un aspecto gallonado. Las cuentas en filigrana se generan a partir de un hilo de sección circular enrollado en muelle, doblado posteriormente sobre sí mismo hasta cerrar una forma toroidal; se rematan, arriba y abajo, con una anilla, aunque ocasionalmente la soldadura ha fallado y se encuentran estas anillas sueltas. Finalmente, hay una única cuenta separadora (CSET-05) que presenta tres gruesas anillas unidas para espaciar otras tantas sartas de collar.

-*Los colgantes amuleto*: es un grupo heterogéneo, tanto en forma e iconografía, como en cali-

dad y complejidad de fabricación. En primer lugar hay que mencionar el correspondiente a la tumba 16 que representa una estela u hornacina (CSET-01) con decoración egipcizante realizada mediante apliques laminares recortados, granulada y filigrana, en la que un círculo central aparece enmarcado por dos *urei* y se corona con el disco solar alado y una palmeta. De la misma tumba procede el colgante en forma de disco solar enmarcado por el creciente (CSET-04) con una fina decoración granulada que marca los bordes. Más sencillo es el colgante de la tumba 3 (CSET-02) en forma de doble voluta, realizado a partir de una lámina estampada. Finalmente, el fragmento correspondiente a la tumba 10 (CSET-20) podría tratarse de un complejo colgante con decoración granulada en forma de palmeta o voluta, pero desafortunadamente está muy fragmentado, aunque se aprecia la alta calidad técnica.

-*Los pendientes cerrados, nezem*: los dos ejemplares (CSET-08, CSET-17) aparecidos en la tumba 10, se atienen al tipo canónico que parte de un grueso hilo cerrado en círculo, cuyos extremos, afinados, se enrollan para cerrar permanentemente. Presentan diferentes diámetros porque, como sabemos, este tipo de pendiente se llevaba de forma aislada y no en parejas.

II. ESTUDIO MEB DE LA ORFEBRERÍA

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis (MicroLab) del Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), CSIC, Madrid, según convenio firmado entre el Ayuntamiento de Villajoyosa y el CCHS¹. El MicroLab dispone de un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) Hitachi S-3400N, con detector de electrones secundarios y retrodispersados, y de un Microanalizador EDS Quantax Esprit de Bruker AXS. Las muestras de oro fueron observadas y analizadas sin preparación, previa limpieza con ultrasonidos en baño de alcohol². No obstante, muchas de las muestras presentan todavía restos de la tie-

¹ Nuestra gratitud a todas las instituciones implicadas por el esfuerzo en la gestión, y en especial a Antonio Espinosa, director del Museo de Villajoyosa, y a M. José Velázquez, restauradora, su buena disposición al facilitar el traslado de las piezas para su estudio en el laboratorio.

² Agradecemos a Oscar García-Vuelta, responsable técnico del MicroLab, su pericia en el manejo del MEB así como su ayuda y conocimiento en la solución de problemas con este tipo de muestras.

rra del yacimiento, que no quisimos eliminar recurriendo a una limpieza mecánica para no afectar la superficie del metal. Ocasionalmente se observó la presencia de elementos no conductores sobre la superficie de las muestras que, por su composición y aspecto, se podrían asociar a restos orgánicos de la cremación o cenizas de la pira funeraria.

Estudio microscópico: las cuentas

Del total de 14 cuentas laminares, existe la posibilidad de que los dos ejemplares que carecen de remates de hilo en los extremos (CSET-07, -12) los hubieran perdido por un fallo de soldadura, como así ocurrió en el caso de uno de los ejemplares de filigrana, aunque no hemos observado huellas o restos de esa soldadura en la superficie de la lámina; por lo demás, no se diferencian en nada de las que sí presentan remates.

Todas estas piezas se fabricaron mediante un proceso normalizado que consiste en ahuecar un fragmento laminar por deformación plástica, quizá con la ayuda de un conformador o yunque con una pequeña depresión, hasta cerrar un cuerpo globular. La unión de los bordes de la lámina queda como una costura longitudinal que se bruñe después de soldar para disimular, lo que no siempre se consiguió. El cuerpo del ejemplar CSET-06 se trabajó para estriarlo; el roce de la zona sobresaliente de la estría en contacto con las cuentas del resto del collar durante el periodo de uso, provocó tal desgaste que llegó a romper la lámina.

Los hilos de remate son buenos indicadores para establecer diferencias de mano o taller. Todos los de sección circular se fabricaron a partir de una fina tira laminar torsionada sobre sí misma hasta formar un tubo que deja una huella helicoidal a lo largo de toda su longitud, característica que define esta técnica practicada en todo el Mediterráneo. El hilo de sección cuadrangular del ejemplar CSET-21 probablemente partió de un hilo circular que posteriormente se trabajó por deformación plástica para cambiar su sección, con lo que la huella helicoidal se habría perdido. Pero lo interesante es que podemos diferenciar dos grosores de hilo que se

corresponden con dos formas de disponer el hilo para soldar. En un caso se trata de hilos gruesos que se sitúan sobre una pestaña levantada en cada borde de la lámina; se corresponde con las cuentas que aparecen en los ajuares de las tumbas 3 y 10. Mientras que el segundo caso es el de hilos relativamente finos, dispuestos sin preparación sobre el borde de la cuenta; estos últimos ejemplares pertenecen todos al ajuar de la tumba 12. Al tratarse de objetos con simetría de revolución, la diferencia hace que el perfil sea más achatado en el primer caso que en el segundo.

En cuanto a las microestructuras, hemos observado formaciones dendríticas en las zonas de soldadura entre la lámina del cuerpo y el hilo de remate, no siempre bien desarrolladas ni accesibles a la microsonda. En cuanto al estado de la superficie laminar, se encuentra en muchos casos afectada por exceso de temperatura, lo que ha provocado porosidad, corrosión intergranular y la llamada piel de naranja, que afecta igualmente a la superficie de los hilos.

Las tres cuentas de filigrana son piezas muy efectistas, de fabricación sencilla puesto que su estructura sólo requiere la utilización de hilo, y todas aparecieron en la misma tumba 3. Las soldaduras de los hilos de remate fallaron en el caso del ejemplar CSET-10 y se encontraron sueltos debido a que la superficie de contacto para soldar es mucho menor en este tipo de cuentas que en las laminares. Estos hilos se doblaron para formar una anilla cuyos extremos muestran un corte diferenciado, recto en un extremo y biselado en otro. Todos presentan claramente la huella helicoidal que resulta del proceso de fabricación, y todos están afectados en mayor o menor medida por altas temperaturas, llegando al límite de fundir la pieza.

El último de los tipos es la llamada cuenta separadora; se trata de una pieza fabricada a partir de tres anillas planas soldadas entre sí, siendo la central de mayor diámetro. La superficie está muy desgastada por rozamiento, que en las anillas laterales llegó a deformar el círculo interior. Las soldaduras presentan una estructura dendrítica muy perdida igualmente por el desgaste de uso.

Estudio microscópico: los colgantes

Los colgantes amuleto son objetos únicos puesto que no fueron concebidos para su producción en serie, como es el caso de las cuentas o los *nezem*. Aunque cada uno de ellos pertenezca a un grupo iconográfico conocido y documentado en otros yacimientos peninsulares y mediterráneos, existen detalles que los individualizan: cada orfebre reinterpreta la imagen expresada a través de los distintos elementos icónicos y ornamentales, o cada cliente exige determinada particularidad.

El colgante CSET-01 en forma de estela con decoración egipizante apareció en la tumba 16 junto a un segundo colgante (CSET-04) y tres cuentas, una lisa, otra gallonada y la separadora. Lo primero que nos llamó la atención fueron unos cristales blanquecinos que cubrían la superficie, compuestos mayoritariamente por calcio, y que identificamos con restos de cenizas de la cremación. No es éste el único caso, como veremos más adelante.

Se fabricó a partir de una lámina, relativamente gruesa rematada en los bordes con una moldura en media caña soldada en dos trozos, uno recto en la base y el otro curvo; las uniones se tuvieron que retocar añadiendo dos pequeñas laminas para ajustar. Sobre la superficie así delimitada se aplicaron una serie de elementos fabricados independientemente en lámina, además de la filigrana y el granulado, que conforman el motivo iconográfico. En la zona inferior se centró un círculo de hilo de cinta, preparado para contener pasta vítrea, como se desprende del aspecto poroso que presenta la base laminar afectada por el calor. A cada lado se soldaron dos *ureus* fabricados en láminas recortadas y embutidas con la forma esquemática del ofidio; los cortes realizados con cincel son bien visibles. Sobre el círculo aparece una palmeta de hilos de sección circular con huella helicoidal. Inmediatamente encima se situó el disco solar rodeado por el creciente, a partir de láminas recortadas y embutidas, lo mismo que las dos alas que abrazan el conjunto por la parte superior.

Una vez dispuestos estos apliques, la orna-

mentación se completó con gránulos bordeando las figuras y rematando los bordes interiores con motivos triangulares y grupos aislados de tres o cuatro gránulos. Las soldaduras de todos estos elementos son limpias, con cuellos poco desarrollados pero bien definidos que ocasionalmente se fracturaron, como es habitual en estas zonas donde se acumulan las tensiones. También hemos observado estructuras dendríticas muy perdidas. La pieza se terminó disponiendo un sistema de suspensión en la parte superior de hilo enrollado en espiral hasta formar un cilindro. La firma del orfebre consistió en dejar los extremos apuntados de la espiral sueltos, por lo que uno de ellos se fracturó ya que podía engancharse fácilmente. El material utilizado para soldar este elemento se observa perfectamente, así como su microestructura dendrítica y porosa por anverso y reverso.

Podemos afirmar que este colgante no se utilizó por un periodo muy prolongado, y probablemente sólo en vida de su dueño. El desgaste por rozamiento se advierte solamente en el reverso laminar. Por otro lado, el sistema de suspensión carece de huellas de desgaste, y lo más probable es que no hubiera resistido un uso prolongado sin que ambos extremos se hubieran roto.

El colgante astral CSET-04 salió del mismo taller, si no de las mismas manos, que el colgante anterior. Es evidente que el orfebre quiso dejar su firma en el sistema de suspensión a base de un hilo enrollado en espiral con los extremos apuntados sueltos. En este caso ambos se han conservado por lo que tampoco debió ser utilizado por un periodo largo. Sin embargo, observamos en el borde granulado del creciente, y a cada lado del sistema de suspensión, huellas aparentemente de desgaste, que entran en contradicción con lo anterior. La explicación podría estar en el acabado final de la pieza. Lo más probable es que durante el proceso de soldado la lámina de base, que sustenta la línea de gránulos, se deteriorase por exceso de temperatura o material soldante; de hecho, hemos observado exceso de ese material en algunas de esas zonas. La solución fue eliminar las rebabas del borde mediante un proceso de abrasión que afectó inevitablemente a algunos gránulos.

Aunque más simple, la estructura de esta pieza es muy similar a la anterior. Consiste en una base laminar recortada con la forma astral, sobre la que se aplicó un creciente laminar ahuecado, y un círculo de hilo de cinta que quizá contuvo pasta vítrea, según se desprende de la microestructura porosa y con corrosión intergranular del fondo de la cápsula. El granulado presenta características similares a la pieza anterior, con algunos gránulos desprendidos por fallo de la soldadura. El exceso de material soldante en la unión de la anilla de suspensión al borde pudo ser la causa del desperfecto que hemos comentado más arriba.

De la tumba 10 es el fragmento de palmeta CSET-20, que debió pertenecer a otro colgante con características artesanales diferentes a los dos anteriores, pero de sofisticada técnica. Su estructura se basa, como suele ser habitual, en una base laminar lisa sobre la que se sobrepone otra lámina trabajada, en este caso con lo que parece el roleo de una palmeta. La decoración granulada está dispuesta linealmente, aprovechando los surcos marcados en la lámina trabajada. Las soldaduras que hemos podido observar, porque la pieza se encuentra con tierra del yacimiento muy incrustada, son extremadamente limpias con apenas cuello desarrollado. Parece que la rotura de esta pieza se produjo por la caída de algún peso considerable que llegó a aplastar algunos gránulos.

Para el final hemos dejado el colgante más sencillo, CSET-02. Se trata de una doble voluta invertida con largo tubo de suspensión, que apareció en la tumba 3 junto a siete cuentas. Su estructura es una lámina de base recortada descuidadamente con la forma de la voluta, sobre la que se soldó otra trabajada en relieve. La lengüeta superior se encajó en el cilindro de suspensión, realizado igualmente a partir de una lámina trabajada y enrollada, para facilitar la soldadura. Estas uniones presentan un aspecto muy poroso, con corrosión intergranular que afecta a toda la lámina de base. Como en el caso del primer colgante, sobre la superficie del oro hemos observado restos de cenizas de la cremación en forma de cristales blancos, de la misma composición de calcio como elemento mayoritario.

Estudio microscópico: los nezem

Los dos pendientes cerrados, CSET-08 y 17, aparecieron en la misma tumba 10, junto con dos cuentas y el fragmento de colgante en forma de palmeta. Aunque pertenecen al mismo tipo de pendiente ritual o *nezem*, no presentan el mismo tamaño, ni salieron de la misma mano. Estructuralmente son muy sencillos. Partieron de un fino vástago de sección circular afinado en los extremos hasta formar un hilo que se enrolla a cada lado, con tres o cuatro vueltas en el ejemplar más pequeño y con ocho en el caso del más grande. Ambos están afectados por un exceso de temperatura que comenzó a derretir la superficie del metal y que achacamos al proceso de cremación en la pira funeraria.

Estudio microanalítico

Sintetizamos la información analítica (resultados en % en peso) en forma de gráficos comparativos o descriptivos que nos ayuden a dilucidar las cuestiones de taller planteadas en el estudio microscópico, comenzando por la composición del material de base, y terminando con las soldaduras. Tenemos que tener en cuenta que en un estudio de este tipo, las cifras de composición elemental no responden estrictamente al valor nominal de las aleaciones utilizadas en origen, sino que son solamente una aproximación a esos valores; al tratarse de análisis de superficie, existen diversos factores que afectan a la composición en los materiales arqueológicos, en primer lugar, es bien conocido el fenómeno del enriquecimiento superficial por corrosión selectiva de los metales menos nobles en las condiciones del yacimiento, y en segundo lugar, algunas de las piezas de oro de Les Casetes fueron introducidas en la pira funeraria, por lo que se vieron afectadas en mayor o menor medida por las altas temperaturas, hasta el punto de llegar a fundirlas total o parcialmente.

Si tenemos en cuenta el material de base, generalmente láminas pero también hilos, lo que salta a la vista es la heterogeneidad del mismo: desde el oro más puro del fragmento de colgante

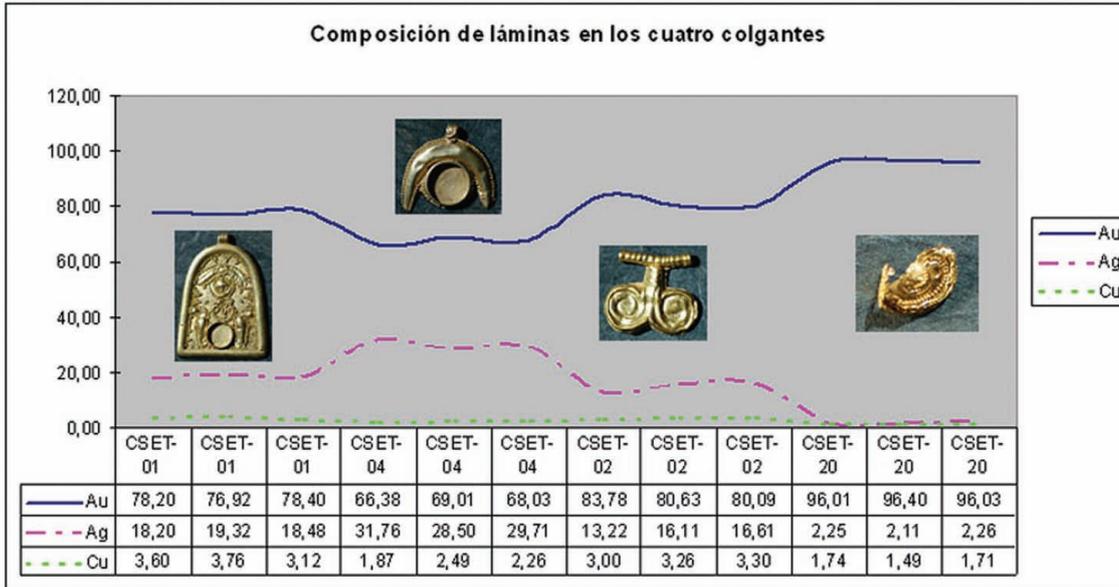


Gráfico 1



Gráfico 2

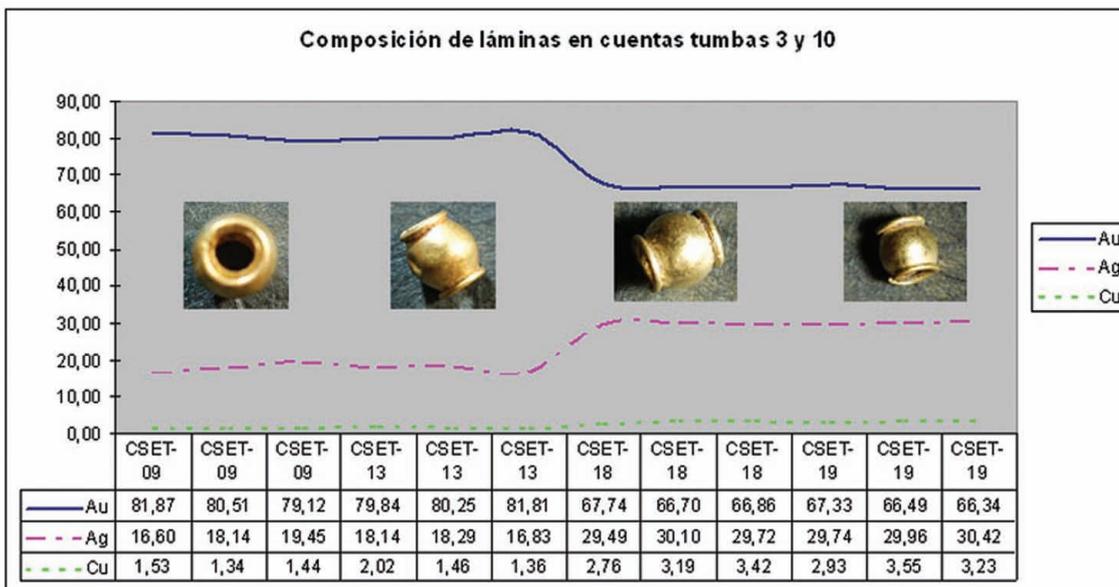


Gráfico 3



Gráfico 4

en forma de palmeta CSET-20 con contenidos en plata en torno al 2% y cobre que escasamente supera el 1,5%, hasta la aleación más baja del colgante astral CSET-04 que presenta más de 30% de plata y 2,5% de cobre (Gráfico 1). Entre las cuentas, son las pertenecientes al ajuar de la tumba 12 las que se fabricaron con una aleación de oro más puro, ya que sólo continen en torno al 7% de plata y 3% de cobre como cifras más altas (Gráfico 2), agrupándose el resto de los ejemplares entre el 15-30% de plata y entre el 2-3% de cobre (Gráficos 3 y 4). Estas cifras sólo son superadas por la cuenta espaciadora CSET-05 en la que hemos llegado a medir cifras en torno al 40% de plata y 3% de cobre. Según estos datos, la composición de la pieza fundida CSET-16 de la tumba 3, que consideramos una posible cuenta laminar, como otras dos procedentes del mismo ajuar, encajaría con la composición de las cuentas del mismo tipo CSET-18 y 19, de la tumba 10, que presentan contenidos muy altos en plata.

Las bajas cifras del cobre que se leen en la totalidad de las composiciones nos hace pensar que se estaba aleando un oro refinado mezclándolo con plata, siendo el cobre un subproducto de este metal. En este sentido hay que destacar la composición de los pendientes cerrados CSET-08 y 17, que presentan una aleación diferenciada (Gráfico 5), con plata en torno al 20% en el primer caso, y sólo del 14% en el segundo, con contenidos

en cobre entre el 5% y el 3% respectivamente; el porcentaje de cobre del ejemplar CSET-08 es el más alto de todos los objetos de oro analizados en este estudio.

En cuanto a las soldaduras, comenzaremos por caracterizar las de los colgantes. Respecto a la estela egipcizante CSET-01 presenta un granulado muy homogéneo, cuyas características ya hemos visto en el apartado del estudio microscópico. En el Gráfico 6 vemos la variación compositiva en la zona de unión de un gránulo a la moldura del borde donde se aprecian diferencias que proceden del elemento filiforme con una composición ligeramente diferenciada del gránulo, y en la zona de unión un ligerísimo aumento del contenido en cobre. En otra soldadura representada en el Gráfico 7, que une un glóbulo a un hilo de filigrana, se observan diferencias compositivas que van en el mismo sentido de un pequeño aumento del cobre en la zona de unión. De otro tipo sería la soldadura de la anilla al cuerpo del colgante, que hemos analizado por el reverso (Gráfico 8), donde se observa una curva muy bien diferenciada, con contenidos en plata y cobre más altos en la zona de unión.

El colgante CSET-02 presenta un punto de soldadura que fija la lámina enrollada en cilindro a la lámina en forma de roleo. El Gráfico 9 muestra claras diferencias de composición que se concretan en el aumento notable del contenido en plata.

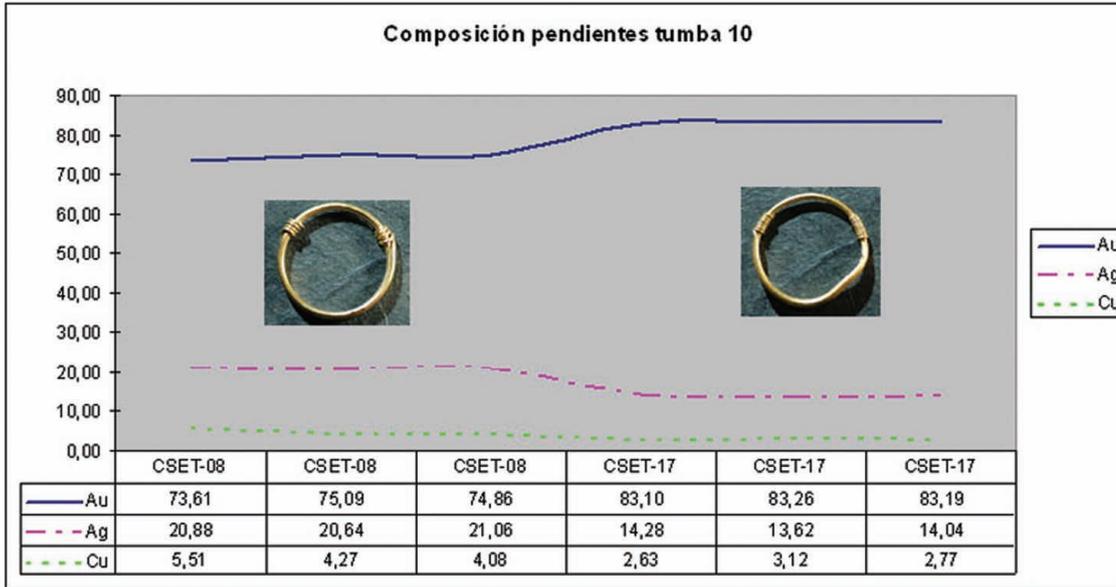


Gráfico 5

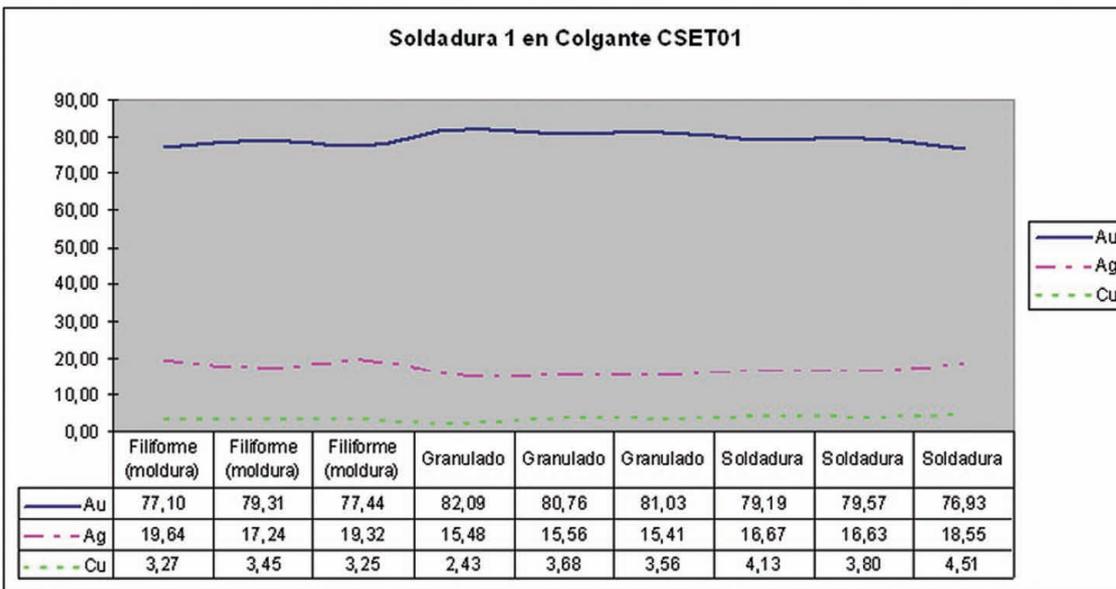


Gráfico 6

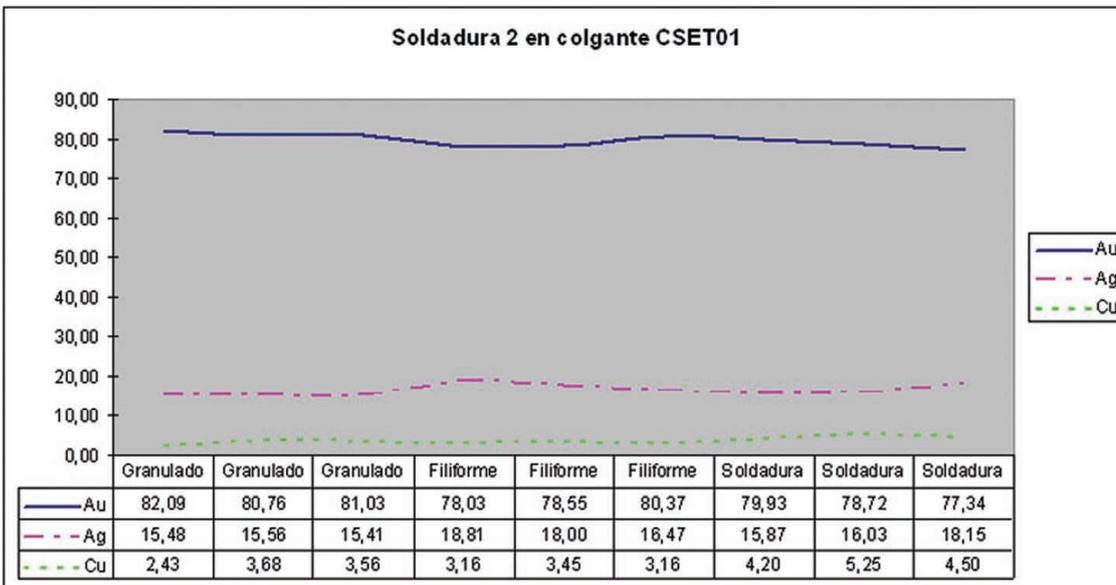


Gráfico 7

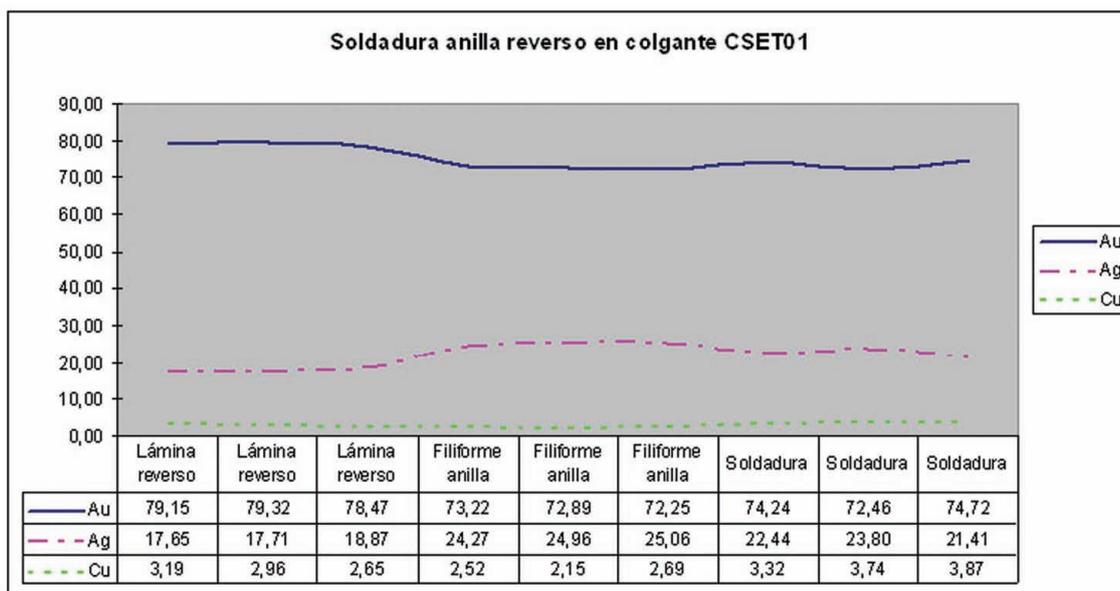


Gráfico 8

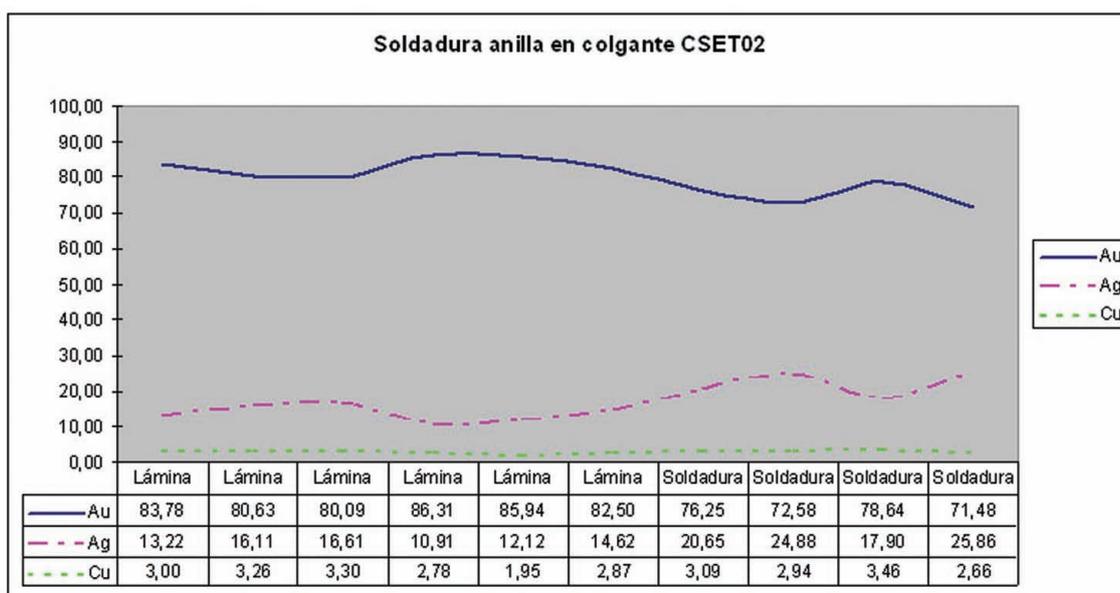


Gráfico 9

Un problema diferente plantean las soldaduras del granulado en el colgante astral CSET-04 con cuellos escasamente desarrollados como vimos en el apartado microscópico. El Gráfico 10 muestra una diferencia de composición entre los gránulos y la zona de unión (cuello de soldadura), pero mientras lo esperable sería un aumento de los contenidos en plata o en cobre en esos cuellos, el fenómeno medido ha sido el contrario. Tampoco nos ayudaron a resolver el problema las medidas tomadas en la huella de una soldadura por desprendimiento del glóbulo. De momento no tenemos explicación para este caso, aunque sabemos que en función de las variables que concurren en el proceso de soldadura, se producen fenómenos de

difusión, migración y corrosión de elementos que todavía están mal descritos y escasamente estudiados (Aballe, Adeva, Perea 1991).

El último de los colgantes, el fragmento de palmeta CSET-20, presenta también un problema complejo. Como habíamos visto, prácticamente no se han desarrollado cuellos en las uniones del granulado; por otro lado, el acceso de la microsonda a esos cuellos no era tarea fácil debido, en primer lugar, a la deformación de la propia pieza, y en segundo, a que la tierra del yacimiento se encontraba muy incrustada, cubriendo las zonas de interés. Las medidas realizadas no muestran diferencias de composición apreciables entre los elementos a

unir y la zona de unión, de manera que tendremos que barajar la hipótesis de soldaduras autógenas, es decir, sin material soldante, calentando la pieza por debajo del punto de fusión.

Para las cuentas adoptaremos una estrategia diferente. Dado que son piezas fabricadas en serie, o al menos mediante un proceso relativamente normalizado, al contrario que los colgantes amuleto, compararemos los ajuares entre sí.

Las soldaduras entre hilo y lámina en las cuentas laminares lisas se ha podido determinar en seis ejemplares, aunque sólo aportaremos datos de tres (Gráficos 11 a 13) puesto que son muy similares. Como podemos observar por las curvas de los contenidos en oro, plata y cobre, existen variaciones de composición en los ejemplares CSET-09, 18 y 19, pertenecientes a las tumbas 3 y 10, notándose un aumento de los contenidos en plata en las zonas de unión. Por el contrario, en los ejemplares CSET-22, 23 y 24, del ajuar de la tumba 12, no se han apreciado diferencias significativas en ninguna de ellas. De ello deberemos deducir que en el primer caso se utilizó un material soldante de menor punto de fusión que los dos materiales a unir, mientras que en el segundo se trataría de una soldadura autógena, o alternativamente que no hemos sido capaces de llegar realmente al punto de unión, o bien, finalmente, que los fenómenos de corrosión selectiva han actuado en esas zonas donde se concentran las tensiones.

Otros dos casos son los de la cuenta gallo-nada CSET-06, de la tumba 16, donde efectivamente se nota un ligero aumento de los contenidos en plata y cobre con respecto al material de base. En cuanto a la unión de la propia lámina entre sí para formar el cuerpo globular, que se ha observado en algunos ejemplares en forma de costura vertical con leves formaciones dendríticas, como en la cuenta CSET-12, sin remates de hilo, perteneciente a la tumba 3, las medidas tomadas en la zona tampoco presentan diferencias con respecto al material de base.

Resumiendo, las diferencias compositivas en los materiales de base de la producción orfebre peninsular es algo normal para la época. Se trabajaba con materia prima de procedencia diversa, y probablemente era el cliente el que proveía al artesano con el metal necesario. No podemos caer en la tentación actualista de equiparar maestría y complejidad artesanal con mayor pureza en la aleación utilizada, como vemos en éste y en otros muchos casos. El granulado y la filigrana marcan estándares que se sitúan en el nivel superior del artesano. En cuanto a las técnicas de soldadura, podemos decir que se utilizaron todas las posibilidades al alcance de la tecnología del momento. En primer lugar, las anillas de suspensión en los colgantes se soldaron, en todos los casos, utilizando una aleación soldante de menor punto de fusión que el material de base, puesto que estas partes son susceptibles de sufrir tensiones y tracciones

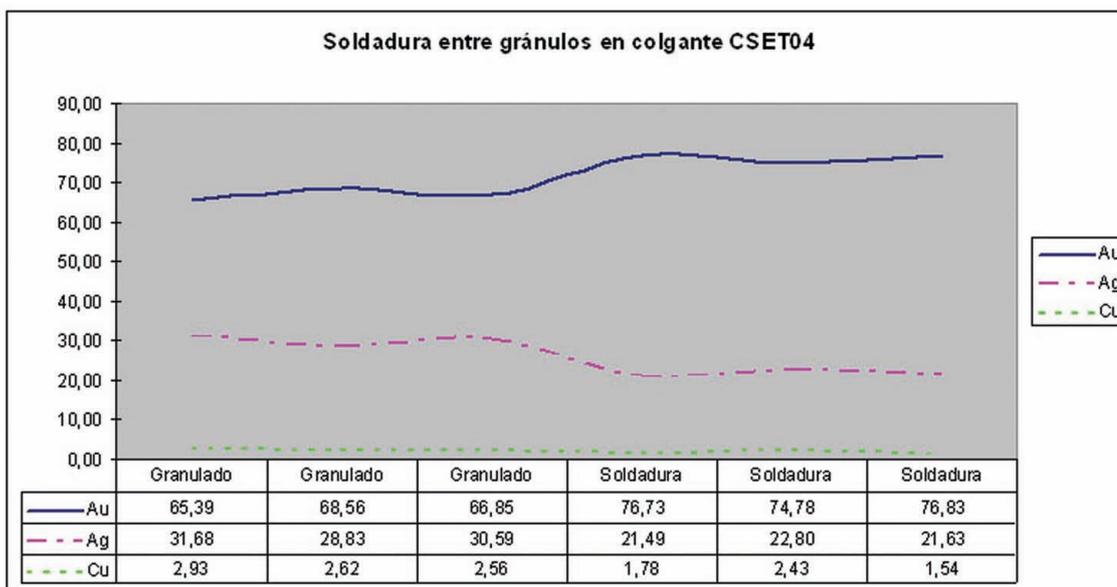


Gráfico 10

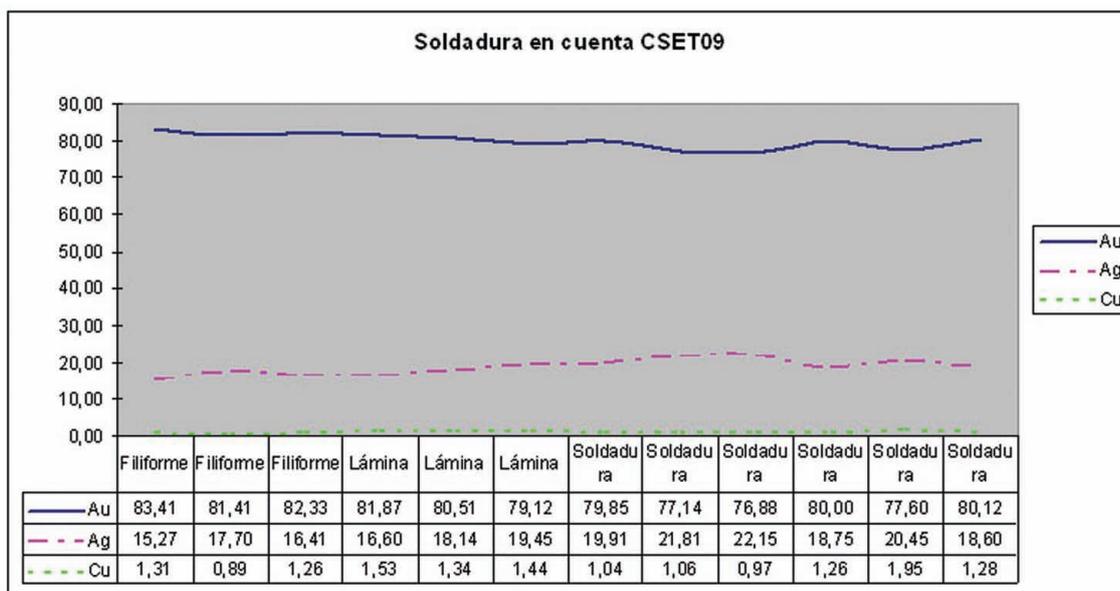


Gráfico 11

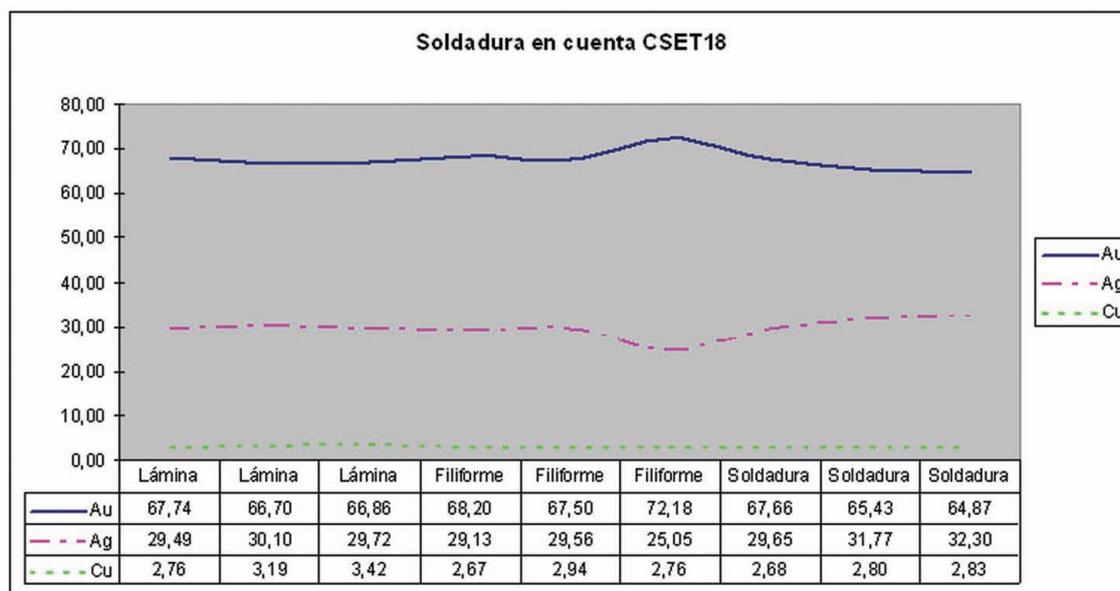


Gráfico 12

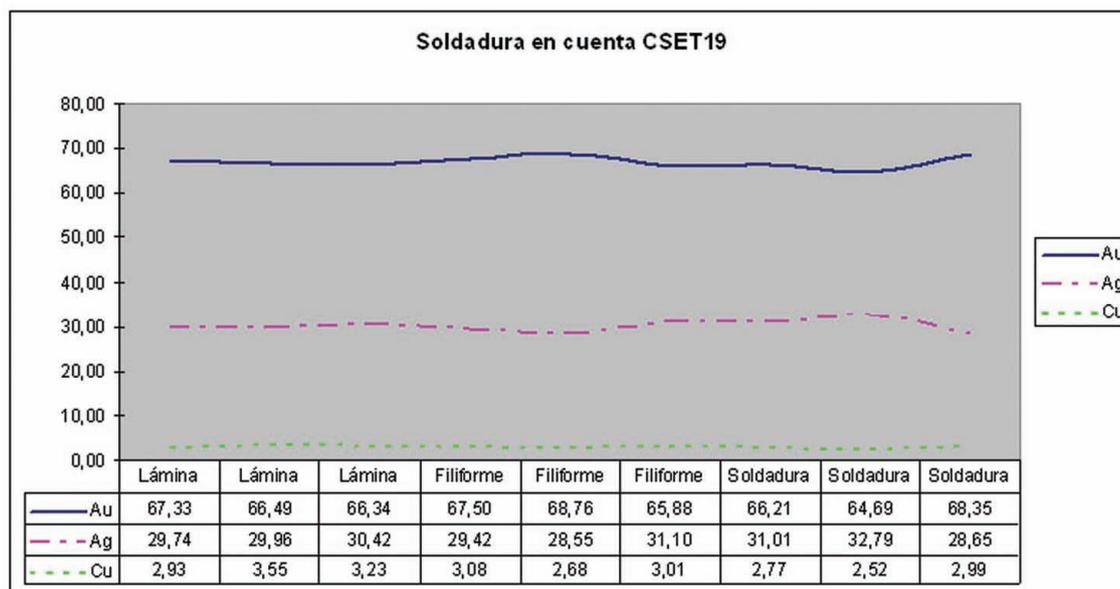


Gráfico 13

que requieren una unión sólida y resistente. Por el contrario los hilos de la filigrana y el granulado no requieren más que una leve unión para permanecer ligados a la base sin mayores problemas, por lo que estas soldaduras, que además deben ser limpias, tendieron a realizarse con técnicas autógenas, es decir calentando por debajo del punto de fusión con ayuda o no de un fundente que facilitase la operación. Aún así, hemos visto el caso de desprendimientos de gránulos en el colgante astral. Por el contrario en el colgante en forma de estela se recurrió probablemente a las sales de cobre para soldar todos los elementos de la ornamentación egiptizante³. En cuanto a las cuentas, también recurrieron a los dos métodos más habituales para soldar, utilizando aleación de menor punto de fusión y soldadura autógena.

III. ESTUDIO COMPARATIVO

El colgante en forma de estela (CSET-01)

Los pocos ejemplares conocidos con esta forma, también descrita como hornacina o nicho, han aparecido en Cartago, Utica y Tharros, predominando los de plata en este último enclave fenicio y los de oro en Cartago. Responden al tipo XI de Quattrocchi (1974) y al 5 de Quillard (1979), que los fechan entre los siglos VII-VI a. C., aunque existen perduraciones de baja calidad hasta el IV. Sin embargo, los paralelos para nuestro ejemplar, el primero encontrado hasta la fecha en la Península Ibérica, se limitan estrictamente a la forma del colgante. En efecto, todos los ejemplares citados presentan como motivo central un ídolo botella que descansa sobre un altar, flanqueado por dos *urei*. La complejidad iconográfica del colgante de Les Casetes sólo es comparable a la serie de medallones discoides aparecidos en Cartago, Malta, Sicilia, Cerdeña, Chipre, Ibiza y la Península Ibérica, con el ejemplar de la tumba 4 de Trayamar como para-

digma, fechado a mediados del siglo VII a. C. (Nicolini 1990: n^o 172, lám. 105) Todos ellos combinan, de diferentes maneras puesto que no existen dos ejemplares exactamente iguales, los siguientes iconos: un *sacrum* circular u ovalado sostenido por los *urei*, el disco solar enmarcado por el creciente, y el disco solar alado; a éstos se pueden añadir motivos secundarios, como el *pschent* o los halcones que coronan a los *urei* en el caso de uno de los ejemplares de Cartago y en el de Trayamar, respectivamente. En Les Casetes será una palmeta, situada inmediatamente por encima del *sacrum*, la que le confiere su peculiaridad. Otra particularidad es el sistema de suspensión; mientras que todos los colgantes presentan el típico carrete con burletes laterales más o menos elaborados, en nuestro caso se trata de un hilo enrollado en espiral con los extremos sueltos y apuntados.

La interpretación de los sacra ha sido muy debatida (*Ibid.*: 75-78), fundamentalmente como disco solar, montaña sagrada o betilo, pero su constante asociación a símbolos astrales y a los *urei* vigilantes o protectores, parecen componer la imagen de un microcosmos.

El colgante astral (CSET-04)

Más común y extendido que el anterior, los colgantes astrales son relativamente frecuentes en la Península, con la necrópolis de Cádiz como lugar de mayor concentración, pero también aparecen, por ejemplo, dentro del conjunto de Aliseda, Cáceres (Nicolini 1990: n^o 205 f, lám. 125). En el Mediterráneo se conocen en Cartago, Tharros y Sicilia, con gran variedad de ornamentaciones que incluyen incrustaciones de pasta vítrea o gemas de color. Pertenecen al tipo IX de Quattrocchi (1974) y al 10 de Quillard (1979), y su utilización se restringió a los siglos VII y VI a. C.

³ Las técnicas de soldadura en la Antigüedad es un tema controvertido puesto que se trata de rastrear los procedimientos y materiales utilizados en una técnica compleja, mediante la observación de las microestructuras resultantes y el análisis elemental del propio objeto arqueológico. No existe un acuerdo completo a la hora de interpretar estos datos, aunque el panorama ha cambiado mucho en los últimos diez años, y consecuentemente la bibliografía es abundante y dispersa. Señalamos aquí algunas de las publicaciones que consideramos significativas: Wolters (1983), Nestler y Formigli (1994), Perea, Montero y García Vuelta (2004), Ferro *et al.* (2003, 2008).

La iconografía del disco solar enmarcado por el creciente tiene un origen próximo oriental y se remonta al III milenio a. C. (*Ibid.*: 90). Se trata de una simbología enormemente extendida en el mundo semita sobre todo tipo de soportes, estelas en piedra, estatuaria, glíptica, etc. En lo referente a las peculiaridades del ejemplar de Les Casetes, tenemos que repetir el mismo comentario respecto al sistema de suspensión del colgante en forma de estela, puesto que parece que ambos salieron del mismo taller.

El colgante en forma de doble voluta (CSET-02)

No conocemos en la producción fenicia mediterránea el tipo de colgante voluta que aparece en Les Casetes, al menos como motivo iconográfico único. La doble voluta se utiliza como base de la que surgen flores de loto o palmetas, siempre en asociación a otros motivos. Sin embargo, existe un colgante similar procedente del enterramiento múltiple de Talavera la Vieja, Cáceres, que contenía un riquísimo ajuar, incluyendo arracadas, brazaletes y otras joyas de marcado carácter mediterráneo, fechado al menos en la primera mitad del siglo VI a. C. (Perea 2006a). Un segundo colgante que podría relacionarse es el del conjunto de La Marina, Alicante, en forma de doble voluta con motivos ornamentales de carácter fálico (Aranegui y Perea 2000), que apareció junto a tres pequeños torques, con una fecha dentro ya del siglo V a. C.

Creemos que este icono podría tener el mismo carácter fálico, o al menos relacionarse con la parte simbólicamente masculina de algunos ajuares en los que se quiere expresar la dualidad de género.

Los pendientes cerrados o *nezem* (CSET-08, CSET-19)

Estos pendientes rituales, de antiguo origen próximo oriental, son frecuentes en todos los centros de producción fenicios del Mediterráneo, variando las dimensiones del vástago a partir del que se fabricaron, el número de vueltas en que se enrolla el hilo para cerrar, y el material de fabricación, oro o plata. Quattrocchi (1974) los clasifica dentro de su tipo V que presenta una vigencia cronológica desde el siglo VI al III a. C. En la Península, Cádiz y

Villaricos son los yacimientos que mayor número de ejemplares han proporcionado (Perea 1991: 221, fig. 14). La orfebrería ibérica recoge la tradición de estos pendientes (Perea 2000: lám. III), generalmente utilizados como adorno masculino, que se encuentran con relativa frecuencia en los ajuares de guerrero.

Las cuentas

Las cuentas laminares no se prestan a un estudio comparativo debido a su simplicidad. Por el contrario, las cuentas de filigrana presentan una solución funcional y morfológica sorprendentemente sencilla y original, puesto que desconocemos paralelos en otros centros productores de la Península o del Mediterráneo, aunque el hilo enrollado en muelle suele ser frecuente en las producciones etruscas.

La cuenta separadora triple tampoco presenta paralelos conocidos. Este morfotipo no es un hallazgo frecuente, y los pocos ejemplares conocidos, en Cádiz (Nicolini 1990: n.º 231, lám. 156), Almuñecar (Blech 1986) y Cartago (Quillard 1979: 112, lám. XXIX), están formados por dos o tres cuentas laminares, con simetría de revolución, soldadas entre sí.

IV. CONCLUSIÓN

El conjunto áureo de Les Casetes viene a llenar un vacío en la investigación, a responder viejas preguntas, y a plantear nuevas cuestiones sobre la presencia y producción artesanal fenicia en el levante peninsular. Hasta hace bien poco la orfebrería orientalizante levantina se limitaba a unos pocos objetos, como el tesorillo de Peña Negra (González-Prats 1978; Perea 2001: 160), con el que se abrió la discusión en torno a la adscripción de unas producciones descritas como orientalizantes o fenicias, según la orientación más o menos autoctonista o aloctonista del arqueólogo de turno. La ambigüedad siempre ha incomodado al investigador.

El yacimiento acoge a un grupo étnicamente diverso, socialmente complejo y económicamente emprendedor —si tenemos en cuenta que el 71% de las sepulturas contaban con ajuar— que elige

ese espacio para la muerte desde el último cuarto del siglo VII a mediados del VI a. C., tiempo de cambio en el que las últimas generaciones tendrían dificultades para reconocerse en las pioneras.

El oro sólo puede reflejar un sector social restringido, pero hemos visto que el carácter fenicio de los colgantes amuleto no deja lugar a dudas, y que los rasgos técnicos de aquellos pertenecientes al ajuar de la tumba 16 parecen indicar la existencia de un taller que se aleja considerablemente de la producción colonial del sur peninsular mejor conocida, como Cádiz, o de hallazgos aislados como Trayamar, por mencionar el paralelo iconográfico más estrecho entre el medallón malagueño y la estela alicantina. En este sentido, la pieza levantina es un *unicum* dentro y fuera de la Península Ibérica, pues no se había documentado hasta la fecha la iconografía llamada egiptizante asociada a este morfotipo. Este extraordinario conjunto de piezas de oro puede fecharse sin problemas a finales del siglo VII a. C., como parece desprenderse por el resto del ajuar.

En la misma fecha podríamos situar el conjunto áureo de la tumba 3, cuyo colgante en forma de voluta y las cuentas de filigrana estarían mostrando la autonomía y creatividad de estas producciones locales.

Algo posterior parece el oro de la tumba 10, fechada por el resto de objetos no áureos en la primera mitad del siglo VI a. C., que incluía dos *nezem*,

cuyas características morfométricas se acercan a los ejemplares que podríamos calificar ya de ibéricos. Más comprometido es opinar sobre el colgante fragmentado incluido en este mismo ajuar, pero adelantamos que sus características técnicas podrían estar relacionadas con el collar de la cercana necrópolis de Poble Nou, y siempre a la espera de poder estudiar este conjunto que presenta una extraordinaria decoración granulada.

En el proceso de estudio los conceptos que más nos hemos repetido son los de mestizaje e hibridación, que algunos autores utilizan para describir la dualidad cultural que percibimos en los ajuares de Les Casetes. Desde el punto de vista del oro, y refiriéndonos siempre a los ajuares más antiguos, sería prematuro hablar de mestizaje cuando estamos analizando una producción perfectamente comparable a la de los talleres de la época en Tarras o Cartago (Perea 1997). En efecto, la hibridación se producirá algo más tarde, y fruto de ella serán producciones como la del depósito de La Marina (Aranegui y Perea 2000), un ajuar o dote de mujer compuesto por tres torques cuyas características morfotécnicas no pueden ocultar su origen mediterráneo, reproduciendo el peculiar sistema de cierre de los *nezem* para un adorno de cuello, cuyo significado responde ya al código semántico ibérico (Perea 2006b): la representación de lo femenino a través de los tres collares, con su opuesto masculino representado por el colgante en forma de doble voluta, que pervivirá hasta la romanización.

BIBLIOGRAFÍA

- ABALLE, M.; ADEVA, P. y PEREA, A. 1991: "SEM-EDS microanalytical study of pre-roman gold objects". En W.H. Waldren; J.A. Ensenyat y R.C. Kennard (eds.) *II Deia Conference of Prehistory*, Deia 1998. BAR Int. Series 573: 239-266.
- ARANEGUI, C. y PEREA, A. 2000: *Villena y La Marina. Dos depósitos de joyas relacionados con la cultura tartésica: el marco de la Historia. Monográfico de Catálogo Exposición: Argatonia rey de Tartessos*. Alicante.
- BLECH, M. 1986: "Goldschmuck auf Almuñecar". *Madrid Mitteilungen* 27: 151-167.
- FERRO, D.; FORMIGLI, E.; PACINI, A. y TOSSINI, D. 2003: "Experimental Archaeology approach to the study of 'copper salts' weldings". En *Archaeometallurgy in Europe. International Conference Proceedings* (September 2003. Milan. Italy), vol. 1. Associazione Italiana di Metallurgia. Milan: 305-314.
- 2008: *La Saldatura nell'Oreficeria Antica. Indagini archeometriche e archeologia sperimentale*. Edizioni Kappa. CNR. Roma.
- GARCÍA GANDÍA, J. R. 2009: *La necrópolis orientalizante de les Casetes (La Vila Joiosa, Alicante)*. Anejo a la Revista *Lucentum* 19. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Serie Arqueología. Alicante.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1978: "El tesoro de tipo orientalizante de la Sierra de Crevillente". En *Els Orígens del Mon Ibèric*. Simposi Int. 1977. *Ampurias* 38-40: 350-360.
- NESTLER, G. y FORMIGLI, E. 1994: *Granulazione Etrusca. Un'antica arte orafa*. Nuova Immagine. Siena.
- NICOLINI, G. 1990: *Techniques des Ors Antiques. La bijouterie ibérique du VIIe au IVe siècle*. Picard. Paris.
- PEREA, A. 1991: *Orfebrería Prerromana. Arqueología del Oro*. Caja de Madrid. Comunidad de Madrid.
- 1997: "Phoenician gold in Western Mediterranean". En M.S. Balmuth; A. Gilman y L. Prados (Eds.) *Encounters and Transformations. The Archaeology of Iberia in transition*. Monographs in Mediterranean Archaeology, 7. Sheffield Academic Press: 135-140.
- 2000: "Tecnología, política y sociedad: El Proyecto Au". *Sagvntvm* 32: 123-130.
- 2006a: "Estudio del proceso técnico de fabricación y significado de la orfebrería de Talavera la Vieja". En J. Jiménez Ávila (Ed.) *El Conjunto Orientalizante de Talavera la Vieja (Cáceres)*. Museo de Cáceres, Memoria 5. Mérida: 63-87.
- 2006b: "Entre la metáfora y el mito. La representación de lo femenino en la sociedad ibérica". *MARQ, Arqueología y Museos* 01: 49-68.
- 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. CSIC: 139-146.
- PEREA, A.; MONTERO, I. y GARCÍA-VUELTA, O. (eds.) 2004: *Tecnología del Oro antiguo: Europa y América. Ancient Gold Technology: America and Europe*. Anejos de Archivo Español de Arqueología. CSIC.
- QUATTROCCHI PISANO, G. 1974: *I Gioielli Fenici di Tharros nel Museo Nazionale di Cagliari*. Roma.
- QUILLARD, B. 1979: *Bijoux Carthaginois. I Les Colliers. D'après les collections du Musée National du Bardo et du Musée National de Carthage*. Aurifex 2. Louvain-la-Neuve.
- WOLTERS, J. 1983: *Die Granulation. Geschichte und Technik einer alten Goldschmiedkunst*. Múnaco.

APROXIMACIÓN A LA METALURGIA PREHISTÓRICA DE LAS BALEARES: ESTUDIO ANALÍTICO DE MINERALES CUPRÍFEROS DE MENORCA*

AN INSIGHT INTO PREHISTORIC METALLURGY IN THE BALEARIC ISLANDS. AN ANALYTICAL STUDY OF CUPRIFEROUS MINERALS IN MINORCA

Bartomeu Salvà Simonet (1) / Bartomeu Llull Estarellas (1) / Laura Perelló Mateo (1) / Salvador Rovira Llorens (2)

(1) Grup de Recerca Arqueobaleà. Dpto. de Ciències Històriques y Teoria de las Artes, Àrea de Prehistoria, Universitat de les Illes Balears

(2) Dpto. de Conservación, Museo Arqueológico Nacional

Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid

RESUMEN: En las Islas Baleares, existía un gran desequilibrio entre los estudios arqueométricos realizados en minerales cupríferos y los hechos en piezas arqueológicas metálicas de base cobre, quedando los primeros prácticamente olvidados. Nuestro equipo ya había iniciado la recogida y analítica de muestras de minerales de cobre en Mallorca. Dichas analíticas se han podido ampliar notablemente, aprovechando una beca de investigación concedida por el IME (Institut Menorquí d'Estudis).

Los datos que presentamos, son las analíticas de los minerales de cobre que hemos podido recoger en el transcurso de una serie de prospecciones en Menorca. Para ello se ha utilizado un equipo de microanálisis RX-EDS acoplado a un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), determinando los elementos que acompañan el cobre a fin de caracterizar al máximo las distintas mineralizaciones. Por otra parte, se presentan también una serie de hallazgos arqueológicos que abren nuevas vías de investigación para el estudio de la explotación del cobre en época prehistórica en Menorca.

SUMMARY: In the Balearic Islands, there used to be a big imbalance between archaeometric studies of cupriferous minerals and studies of copper-based archaeological finds, with the former being almost overlooked. Our team had already started to gather and analyse copper mineral samples in Mallorca. These analyses have been substantially extended, thanks to a research grant from the IME (Minorca Research Institute).

We present data relating to analyses of copper minerals that we were able to gather during prospecting activities in Minorca. For this purpose, Scanning Electron Microscopy with RX-EDS equipment was used, determining the elements that accompany the copper in order to characterize the different mineralizations as closely as possible. At the same time, a series of archaeological findings are also presented that open up new fields of research in the study of how copper was used in prehistoric Minorca.

PALABRAS CLAVE: Mineral de cobre, minería prehistórica, arqueometalurgia, Menorca, Islas Baleares.

KEY WORDS: Copper mineral, prehistoric mining, archaeometallurgy, Minorca, Balearic Islands.

I. INTRODUCCIÓN

Los mapas metalogenéticos del IGME y las explotaciones mineras de época contemporánea, demuestran que Menorca es la isla del archipiélago balear con más recursos cupríferos. No obstante, los

estudios sobre posibles explotaciones de cobre durante la prehistoria son escasos. Hasta hace poco los trabajos publicados relacionados con la metalurgia prehistórica se habían centrado en estudios tipológicos de piezas metálicas, dejando totalmente apartado el estudio de su relación con la materia prima.

* El presente trabajo se inscribe dentro de las líneas de investigación del proyecto I+D *Producing, Consuming, Exchanging. Exploitation of Resources and External Interaction of the Balearic Communities during the Late Prehistory*, (HAR2008-00708) coordinado por el Dr. Víctor M. Guerrero, Universitat de les Illes Balears.

Aunque con anterioridad se habían realizado análisis de composición de metales arqueológicos (Cartailhac 1892; Colomines 1923; Veny 1968), no fue hasta finales de los años ochenta que los estudios arqueométricos se aplicaron en este campo en las Islas Baleares de una forma determinante. Fue la publicación de Delibes y Fernández-Miranda (1988), en la que se incluían análisis de metales arqueológicos realizados por Salvador Rovira, la que abrió un nuevo camino en cuanto a metodología de trabajo y las posibilidades de este campo. Posteriormente se publicaría un artículo (Rovira *et al.* 1991) en el que se presentaba una amplia tabla con analíticas de composición de piezas metálicas de Mallorca. En este mismo artículo se incluían las primeras analíticas de minerales de cobre del archipiélago realizadas por fluorescencia de rayos X. Todas las muestras eran procedentes de Menorca, concretamente de Binifailla, Estància des Prats, Illa den Colom y Son Arret. Recientemente, varias publicaciones han ido aportando análisis de objetos metálicos procedentes de yacimientos menorquines. Por un lado, los análisis de isótopos de plomo y de composición de los materiales de la Cova des Carritx, la Cova des Mus-sol y Es Forat de Ses Aritges (Stos-Gale 1999) y, por otro lado, los análisis de composición publicados por Montero *et al.* (2005).

En el año 2002 se publicaba el libro *Los inicios de la metalurgia en Baleares. El Calcolítico (c. 2500-1700 cal. BC)* (Calvo y Guerrero 2002) en el que se recopilaba y actualizaba la información que se tenía hasta el momento del Calcolítico balear. En el mismo se incluían un anexo con microanálisis RX-EDS de objetos relacionados con la metalurgia.

Un año más tarde, uno de nosotros ponía de manifiesto la falta de análisis de minerales de cobre de Mallorca (Rovira 2003: 142), de manera que en su estudio de los metales del dolmen de S'Aigua Dolça (Colònia de Sant Pere, Mallorca) sólo podía establecer cierta relación con las cuatro mineralizaciones analizadas de Menorca (Rovira *et al.* 1991: 73). Este panorama ha cambiado en los

últimos años, ya que nuestro equipo ha realizado análisis de composición de minerales mallorquines (Llull *et al.* e. p.; Perelló *et al.* 2010). Estos estudios se han ido haciendo paralelamente a la tesis de un miembro del equipo, la cual incluye abundantes análisis metalográficos y de composición de metales arqueológicos¹.

Entre los trabajos de los últimos años, cabe mencionar también los artículos que se han generado en torno a las escorias que se localizan en muchos lugares de la Serra de Tramuntana (Mallorca) y de las cuales otros equipos ha realizado análisis de composición (Alcover *et al.* 2007; Ramis *et al.* 2005a, 2005b), si bien a nuestro entender, no queda claro que la cronología de las mismas sea prehistórica (Llull *et al.* en prensa; Perelló *et al.* 2010).

A raíz de una beca de investigación otorgada por el Institut Menorquí d'Estudis (IME) para el proyecto titulado *La minería del coure a Menorca durant la Prehistòria*, se pudieron realizar dos campañas de prospección en el transcurso del año 2009, en las cuales los objetivos principales que se perseguían eran recoger muestras de mineral de diferentes localizaciones bien documentadas, y así mismo, documentar posibles pruebas de explotación prehistórica que se pudieran encontrar en algunos de estos lugares. En una segunda fase del proyecto, se realizaron los análisis de las muestras de mineral, con el fin de elaborar una base de datos que habría de servir para futuros estudios, y sobre todo, para poner en relación la materia prima con productos y subproductos de procesos metalúrgicos prehistóricos ya documentados. El trabajo que aquí presentamos es un avance de los resultados de este proyecto.

II. METODOLOGÍA

Prospecciones

Para realizar las prospecciones, es indispensable el estudio previo de diversas fuentes de in-

¹ SALVÀ, B. Inédito: *Arqueometal·lúrgia prehistòrica a les Illes Balears. Repercussions socioeconòmiques*. Proyecto de tesis, Universitat de Barcelona.

formación. En primer lugar, el examen de los mapas metalogenéticos y geológicos del IGME, permite restringir las prospecciones únicamente a las zonas en las que puede aflorar cobre. Geológicamente, Menorca se divide por una línea que va de Maó a Cala Morell. En el Migjorn se hallan los terrenos del terciario, formados por calizas miocénicas. Precisamente, esta zona es la más fértil y geológicamente uniforme de la isla, agrupando una mayor concentración de asentamientos prehistóricos. Más al norte de la mencionada línea, en la Tramuntana, tenemos un terreno formado por pliegues del secundario y primario. Esta parte de la isla es la que contiene las mineralizaciones de cobre objeto de nuestro trabajo.

Por otro lado, se han estudiado los archivos del Distrito de Minas de las Baleares, cuyos fondos de hallan en el Archivo del Reino de Mallorca. El objetivo era localizar los registros de minas de cobre efectuados en época contemporánea. De este modo, se han podido estudiar diversos registros acotando las zonas a prospectar y concretando al máximo las localizaciones de las mineralizaciones. Además, se han tenido en cuenta otras fuentes de información, como los mapas topográficos, la fotografía aérea y satélite o noticias orales, así como también los fondos de publicaciones antiguas del IGME, como es el *Boletín de la Comisión del mapa de España*, y otras fuentes de carácter histórico.

Análisis

Para realizar los análisis del mineral han de tenerse en cuenta tanto las limitaciones del instrumental empleado, como las características de las muestras. Los análisis se han llevado a cabo en la Universitat de les Illes Balears (Serveis Científicotècnics). Para ello se ha utilizado el Microanálisis RX-EDS BRUKER AXS GmbH con XFLASH DETECTOR 4010 y resolución de 133eV, acoplado al Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) HITACHI S-3400N. El equipo cuenta también con el paquete de software Quantax 400. Hay que señalar

que la técnica utilizada tiene dificultades para detectar elementos minoritarios y se calcula que si la concentración de un elemento es inferior a 0'3% de su peso total, este puede pasar desapercibido.

En cuanto a los valores cuantitativos de las muestras, debemos considerar la gran heterogeneidad de las rocas, lo que implica que los resultados de los análisis varíen según la zona que se analice. Por otra parte, dada la amplia cantidad de elementos detectados, puede suceder que las líneas espectrales de algunos elementos se superpongan con las de otros, ocurriendo que algunos picos puedan quedar sobrevalorados². Por tanto hay que tener presente que estamos manejando datos de una técnica cualitativa y semicuantitativa. Así pues, para caracterizar las mineralizaciones de la manera más fiable posible, y solventar posibles errores derivados de los factores más arriba descritos, se ha establecido el siguiente procedimiento:

-Se han realizado 216 análisis de muestras recogidas en 13 zonas distintas.

-Los barridos se han efectuado en ventanas de 40x, que equivalen a 9 mm² aproximadamente.

-Se han realizado un mínimo de 6 análisis de cada punto de recogida de muestras. De una misma mineralización se pueden haber recogido muestras de distintos puntos, dependiendo de las características de la misma.

-Se ha realizado una observación exhaustiva de cada muestra para determinar posibles trazas y elementos que quedarían por debajo del límite cuantificable.

-En las tablas se incluyen todos los elementos detectados. La finalidad es tener información, no sólo de los elementos que pasarían al metal, sino también de los elementos de la ganga que quedarían en las escorias. La composición de la roca es la que nos da la información para sacar conclusiones sobre las facilidades o dificultades

² El paquete de software Quantax 400 hace automáticamente la corrección de la contribución al pico del elemento que se solapa. Sin embargo, si el solapamiento es de elementos que están en gran cantidad, puede existir cierta sobrevaloración.

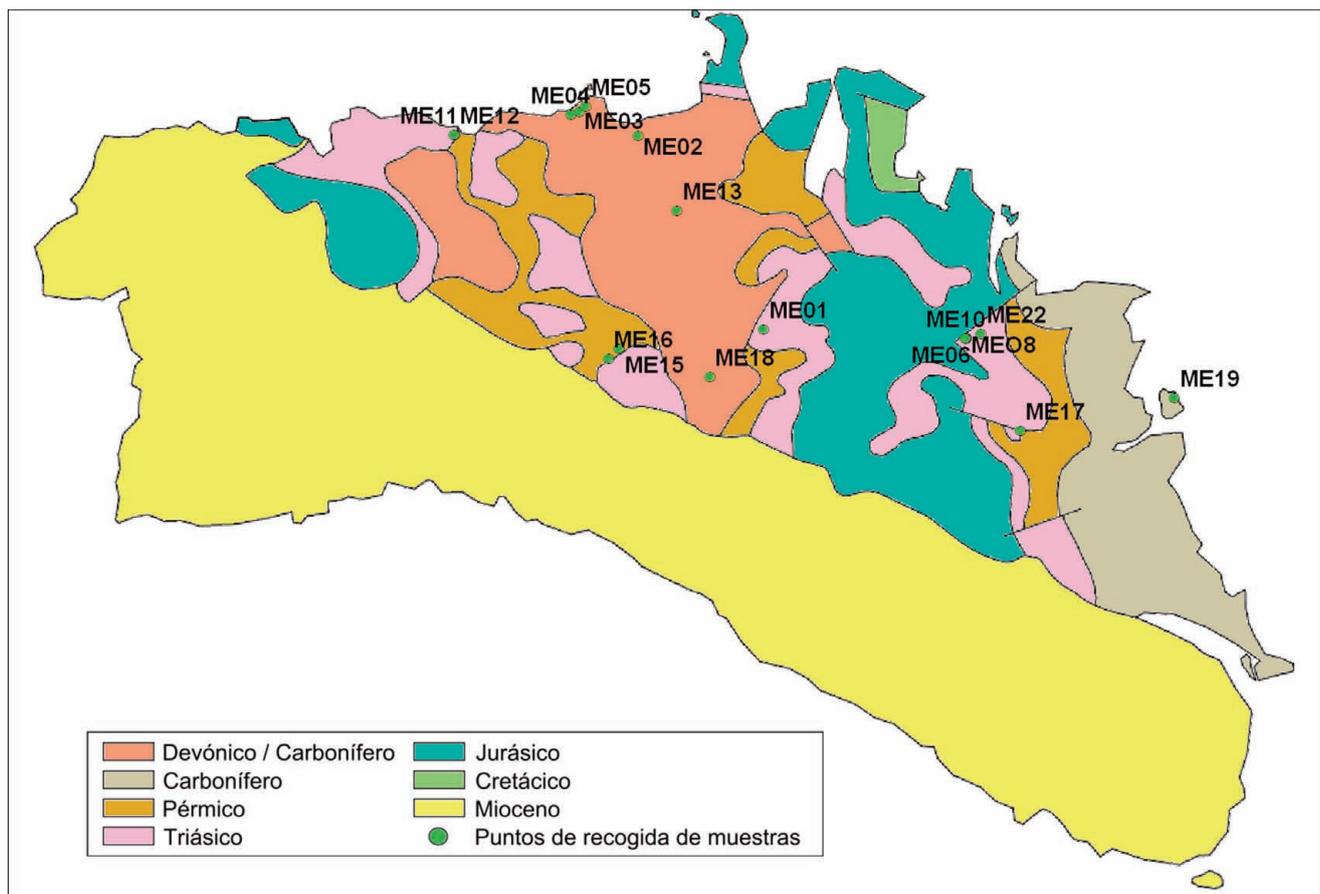


Fig. 1. Mapa geológico de Menorca con los puntos de recogida de muestras (basado en la cartografía del IGME).

tecnológicas que existirían para separar el cobre del resto de la ganga. Igualmente, son estos minerales que acompañan al cobre los que proporcionan la información necesaria para establecer relaciones entre materia prima, productos y subproductos. Del mismo modo, de hallarse un mineral de cobre en un contexto arqueológico fuera de la propia mina, estos análisis podrían servir para hacer una aproximación a su posible procedencia mediante un estudio comparativo de los elementos que lo componen.

III. RESULTADOS DE LAS PROSPECCIONES

Siguiendo la metodología descrita, se han identificado 26 mineralizaciones de cobre, aunque en el transcurso de las prospecciones, se han documentado dos lugares de los cuales no teníamos noticias anteriores: Son Gras y Cala Morts. Así pues, cabe suponer que la cantidad de afloramientos de mineral de cobre podría ser bastante mayor,

si bien estos no tendrían porque tener ningún interés para una explotación a gran escala y por ello, no constar en ningún archivo. De cualquier manera, hay que señalar que ninguna de las explotaciones de cobre llevadas a cabo en época contemporánea tuvieron rentabilidad económica suficiente, y que en poco tiempo, todas las iniciativas fracasaron. Menorca es relativamente pobre en recursos de cobre, pero hay que tener en cuenta que lo que aquí nos interesa es la posibilidad de una explotación prehistórica y para nada estamos hablando en términos industriales.

En total, se han podido prospectar trece zonas en las que había mineralizaciones de cobre. De cada uno de estos lugares prospectados se pudieron recoger muestras de mineral de diferentes puntos. A continuación describimos dos de estos sitios prospectados, ya que presentan una serie de características que nos indicarían la posibilidad de que podrían haber sido explotadas durante la prehistoria.

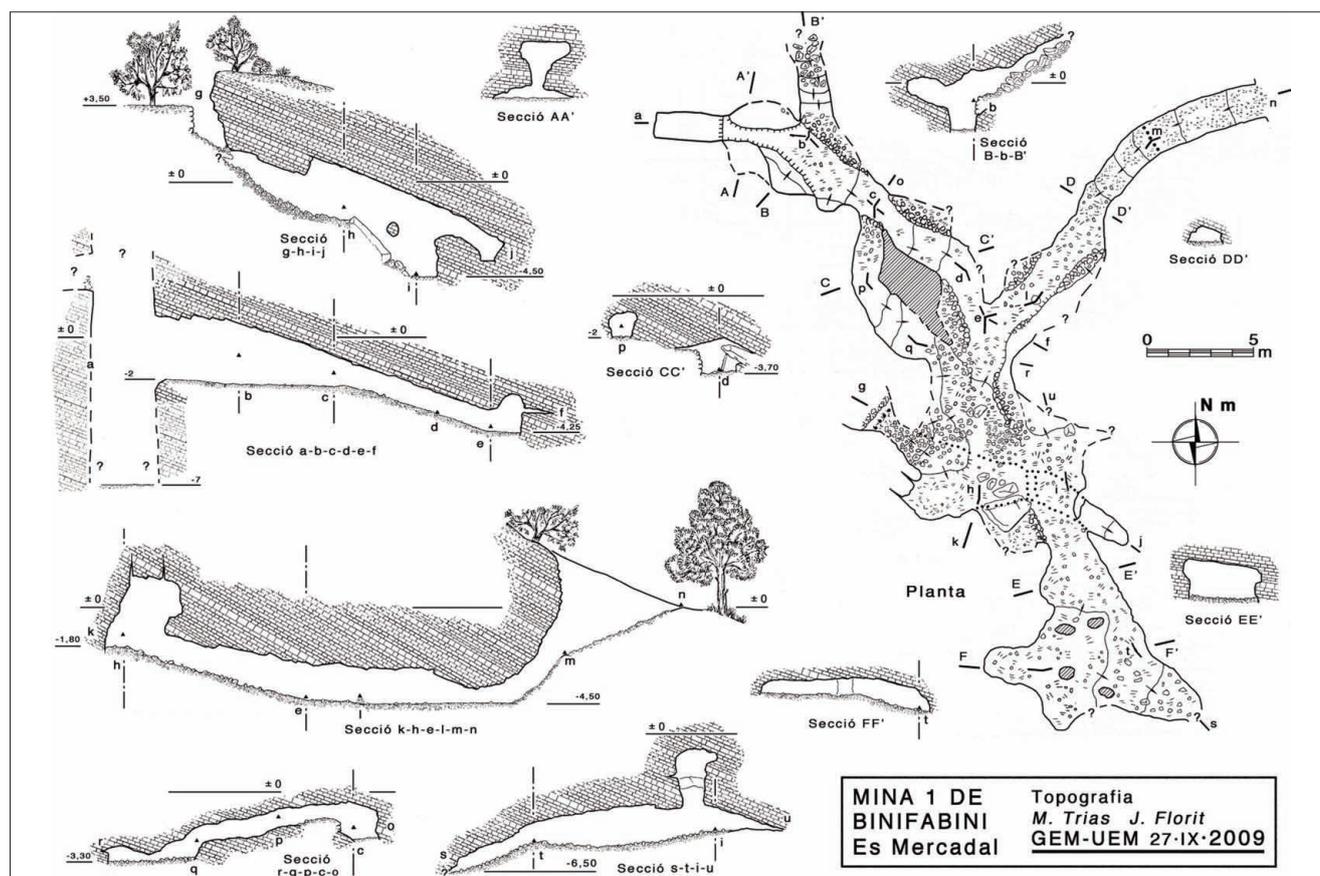


Fig. 2. Topografía de la mina ME08 (Binifabini, Es Mercadal).

Binifabini Vell (Mercadal)

Se trata de un conjunto de minas excavadas en materiales del triásico. Estas se encuentran en los terrenos de una finca privada, en un lugar conocido como L'Alzinar dada la alta concentración de encinas que hay. Es un depósito de tipo Alpino en el que aparecen asociados al cobre otros minerales de plomo, zinc y bario. Son muy conocidos los intentos de explotación que tuvieron lugar en época contemporánea. En los archivos del Distrito de Minas de las Baleares constan al menos tres solicitudes de registros entre 1875 y 1917 para explotar plomo. Existen, sin embargo, otras referencias, como es el caso de la mención que hace el Archiduque Luis Salvador en su obra publicada en Austria en 1890 *Die Balearen in Wort und Bild Geschildert* (1982: 343), llegando a afirmar incluso que las minas eran ya conocidas en "tiempos de los romanos". Ciertamente o no esto último, lo que sí parece evidente a simple vista dada la gran variedad de tipos de trabajos que se hallan, es que este depósito se intentó explotar en distintas épocas.

En las prospecciones, en L'Alzinar se han documentado diez bocaminas, algunas de ellas pertenecen a minas con dos entradas. Por lo general, son galerías poco profundas que terminan a los pocos metros. Existen también evidencias de trabajos al aire libre cuya cronología, al igual que la de algunas galerías, es difícil de precisar. De los trabajos mineros descritos, dos de las minas llaman la atención por el trazado irregular de sus galerías, que tienen una tipología semejante a la de algunas minas explotadas en época prehistórica, como podría ser el caso de La Profunda (Cármenes, León). De todos modos, al no haberse encontrado en superficie ningún material arqueológico no se puede determinar su cronología, aunque parece evidente que no se trata de trabajos de época contemporánea.

En la topografía de la mina ME08 (Figura 2) se pueden apreciar dos tipos de trabajos totalmente distintos. La parte más al norte consta de dos galerías claramente contemporáneas. Llegados al punto de la sección *g-h-i-j* de la topografía, la tipología cambia totalmente. A esta altura de la



Fig. 3. Galerías del interior de la mina ME08 (Binifabini, Es Mercadal).

mina existe una entrada más antigua que quedó sellada en algún momento indeterminado (*g*). Desde este punto en adelante, en dirección sur, las galerías tienen un trazado irregular y caótico, en las que se han ido dejando columnas de sustentación a distintos niveles. Cabe además señalar que los trabajos siguen claramente la veta más rica en cobre, si bien aquí, esta contiene también minerales de plomo y zinc.

Illa den Colom (Maó)

Se trata de una pequeña isla situada al NE de Menorca, en Maó, con una superficie de 582.706 m². Prácticamente, toda la isla esta modelada en facies del Carbonífero. En época contemporánea se trataron de explotar diversos minerales de zinc, plomo y cobre en distintos puntos de la isla. La explotación de cobre es al aire libre, en un lugar costero llamado Sa Mitja Lluna. En los archivos del Distrito de Minas de las Baleares consta la solicitud de registro de 20 pertenencias mineras de cobre efectuada por Don Pablo Ruiz y Verd en representación de La Maquinista Naval, en 1901. Además, existe una referencia anterior en la obra *The history of the island of Minorca*, del ingeniero militar inglés John Armstrong, en la que se dice que la mineralización de cobre es pobre y que únicamente se ha beneficiado en superficie (1752: 41-42).

En Sa Mitja Lluna se pueden apreciar diversas fases de trabajo poco claras a simple vista. Sin embargo, existen dos escombreras que por sus diferencias con las otras y por sus características, pa-



Fig. 4. Vista general de las escombreras de Illa den Colom (Maó).

recen las más antiguas. Son más grandes en extensión, pero están más erosionadas y el material que las conforma es más compacto. Además, otras escombreras se les superponen. En una de ellas, la que queda más al Sur, se hallaron tres fragmentos de cerámica prehistórica en superficie. En algunos de los fragmentos se aprecian termoalteraciones aunque no se ven escorificaciones. Estos fragmentos de cerámica están impregnados con una mezcla de cloruros y óxidos de cobre, tal vez por estar en contacto con los materiales de la escombrera. Además, esta impregnación se encuentra tanto en la parte externa, como en la interna y en la fractura de la cerámica. Por este motivo, sin un estudio más detallado de las mismas, no podemos afirmar en modo alguno que estas cerámicas estuvieran implicadas en algún proceso metalúrgico.

Por el tipo de pasta, no hay duda de que dicha cerámica es del segundo milenio a.C., aunque



Fig. 5. Cerámica prehistórica con adherencias de óxidos y cloruros de cobre.

es difícil dar una cronología más concreta. Las pastas cerámicas del yacimiento de Morellet (Rita 1987) que se encuentra a una distancia aproximada de unos 3,7 km de Sa Mitja Lluna, son muy semejantes (comunicación personal de Simón Gornés Hachero). Cabe destacar que en Illa den Colom no hay documentados yacimientos de época prehistórica, por lo que la presencia de esta cerámica en la escombrera hace pensar que en algún momento de la Edad del Bronce se frecuentó este lugar con la única intención de acceder a este recurso. Hoy por hoy, en las Islas Baleares, este es el único resto arqueológico de época prehistórica que con seguridad se puede relacionar con la extracción de mineral de cobre.

IV. RESULTADO DE LAS ANALÍTICAS

A partir de las prospecciones y de las analíticas realizadas, es evidente que aunque los recursos de cobre de Menorca son escasos para una explotación industrial, son lo suficientemente ricos para las necesidades de las comunidades prehistóricas de la isla. A continuación, vamos a describir algunas particularidades de las mineralizaciones a partir de sus analíticas.

Ya hemos descrito brevemente la posible explotación prehistórica de Binifabini Vell, las analíticas realizadas en rocas de este lugar, a diferencia de todos los otros puntos de recogida de muestras, se caracterizan por su polimetalismo, conteniendo altas cantidades de cobre, plomo, hierro y cinc. La serie de muestras ME8C (ver tabla 1), recogidas en el interior de sus galerías de tipología prehistórica, son un buen ejemplo de ello. Por otro lado, muchos de los análisis realizados en piezas arqueológicas metálicas de cronología del Bronce (Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988; Montero *et al.* 2005), tienen cantidades muy variables de plomo que en algunos casos llegan a ser más que considerables, como demuestran los siete lingotes localizados en Aljubs (Ciudadella, Menorca). De todas formas, de toda la serie de analíticas realizadas por Montero *et al.* (2005), sólo 9 de los objetos metálicos superan el 5% en plomo que, como señalan los autores, probablemente podrían ser producto de aleaciones ternarias intencionadas. Lo cierto es que todo parece indicar que en la mayoría de estas

piezas analizadas, con unos valores en plomo escasos, este elemento tendría su origen en la materia prima que acompañaría al cobre, ya que lo esperable es que la mayor parte del plomo se pierda en la escoria y sólo una pequeña cantidad quede retenida en el metal. Por tanto, bien podría ser que objetos de estas características fueran el resultado de la utilización de minerales de algunas de las vetas de dichos yacimientos polimetálicos menorquines.

Por otro lado, cabe mencionar los dos lingotes del Bronce Final hallados en Es Banyul (Maó, Menorca), con una ausencia total de plomo, y que, por su composición, su materia prima podría tener el origen en la cercana mineralización de Estància de N'Aigordent, a unos 500 metros. Además, el alto contenido en impurezas de hierro (en uno de ellos llega al 2,51%) nos indica que se trataría de un cobre bruto que probablemente no habría pasado por más proceso metalúrgico que el de su reducción y enmoldado en forma de lingote.

En cuanto al cinc, al ser muy volátil a altas temperaturas, debemos considerar la notable pérdida de este elemento a través de los humos y de las escorias durante todos los procesos de transformación en el horno, no apareciendo prácticamente este elemento en las analíticas de los metales por dicho motivo.

Otro elemento encontrado en algunas analíticas de minerales y que debemos tener en cuenta es el azufre, formando compuestos como el sulfuro de cobre o la baritina. En algunas de las muestras analizadas, el cobre no sólo aparece en forma de sulfuro, también está presente en forma de óxidos y carbonatos mezclados. La existencia de sulfuro de cobre se explica debido a que en la mayoría de vetas en las que aparece este compuesto son del interior de galerías, lugar donde el mineral no ha experimentado grandes procesos de oxidación, hidroxidación o carbonatación. Por el contrario, encontramos algunas vetas exteriores con un significativo contenido en azufre como la serie de analíticas ME12A de Pla de Mar (Ciudadella), con valores que llegan al 4,97%. La utilización de sulfuros de cobre conjuntamente con óxidos y carbonatos es posible en hornos oxidantes muy

ventilados, condición que cumplen las vasijas-horno, donde se produciría la tostación de los sulfuros, necesaria para convertirlos en óxidos que posteriormente serían objeto del proceso reducción (Gómez Ramos 1998: 132).

En el caso de la utilización de minerales cupríferos con sulfato de bario, durante su reducción este compuesto podría causar la formación de pequeñas inclusiones de sulfuro de cobre en el metal. El azufre, durante el proceso de reducción se desligaría del bario y dada su alta afinidad con el cobre, parte de él pasaría a formar parte del metal. Este proceso sería el mismo que propone Salvador Rovira (1999: 98-99) para las inclusiones de dicho componente en las escorias de Gorny (Kargaly, Rusia). En algunas de las metalografías realizadas en metales de Mallorca se ha podido constatar este compuesto, pero, lamentablemente, no disponemos de ninguna metalografía de objetos prehistóricos menorquines con las que sacar conclusiones.

Otro hecho destacable en cuanto a la composición de las muestras minerales analizadas hasta el momento, es la ausencia de arsénico tanto en Menorca como en Mallorca (Llull *et al.* en prensa; Perelló *et al.* 2010; Rovira *et al.* 1991). Sobre la intencionalidad de los cobres arsenicales, debate que tomó fuerza a partir de los estudios de J. A. Charles (1967), hay que decir que actualmente se puede considerar un debate cerrado, sobre todo a partir de los análisis hechos sobre los materiales de Almizaraque (Almería) y presentados por Delibes *et al.* (1989) en el Coloquio sobre Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas. Este trabajo demostraba que el arsénico de los metales de Almizaraque tenía su origen en los minerales utilizados. De hecho, actualmente no tenemos ninguna prueba arqueológica segura de la existencia de cobres arsenicales intencionados.

Cabe destacar que los objetos arqueológicos de cobre arsenicado de las Islas son escasos, cosa que coincide con las vetas cupríferas analizadas.

La excepción la encontramos entre los cuchillos de las Islas de cronología entre el Calcolítico y Navi-forme I, la gran mayoría de ellos hallados en cuevas de enterramiento e hipogeos. Por otro lado, al encontrar en la mayoría de dichos yacimientos funerarios un sólo cuchillo y al no quedar clara su asociación a un individuo concreto nos hacen pensar que no formaría parte de un ajuar y, en cambio, sería un útil para algún ritual en el tratamiento del cadáver³. Debe tenerse presente que los cobres arsenicados con alto contenido en arsénico tienden a precipitar este elemento hacia las capas más exteriores del metal, dando estos precipitados un aspecto plateado al metal (Shalev 1988: 307-309). Así, estos objetos podrían haberse considerado como elementos exóticos de gran valor en las Islas. El que estos objetos arsenicados sean cuchillos que normalmente encontramos en contextos funerarios nos revela la gran carga simbólica que pudieron poseer.

De los sesenta cuchillos documentados en Mallorca, se han podido analizar treinta y cuatro⁴; un alto porcentaje de ellos, un 62%, son cobres arsenicados, la mayoría con un contenido de más del 5% en arsénico. Teniendo en cuenta la alta volatilidad de este elemento, y que las pérdidas durante los procesos metalúrgicos suelen ser elevados, para conseguir un cobre arsenicado, su contenido en forma mineral debería ser considerable. Por tanto, es muy probable que los metales de las Islas con alto contenido en arsénico tuvieran un origen foráneo.

V. OBJETIVOS FUTUROS

La recogida de muestras minerales debe continuar, ya que ha sido imposible en dos campañas de prospecciones en Menorca finalizar el trabajo en todos los sitios documentados. Así mismo, todavía queda mucho por hacer en Mallorca, y se espera que en los próximos años el corpus de muestras se amplíe significativamente. Después de todo lo expuesto, queda claro que la siguiente fase del estudio, forzosamente debe pasar por la reali-

³ SALVÀ, B. Inédito: *Arqueometal·lúrgia prehistòrica a les Illes Balears. Repercussions socioeconòmiques*. Proyecto de tesis, Universitat de Barcelona.

⁴ Dichas analíticas se han realizado en el contexto de la elaboración de la tesis de Bartomeu Salvà Simonet.

zación de análisis de isótopos de plomo, que junto con los de composición, nos darían datos más que suficientes para poder determinar el origen de las materias primas de los objetos metálicos de las Baleares. También, el estudio sobre la procedencia de piezas de cobres arsenicales y las posibles implicaciones sociales y económicas que podrían derivarse de su presencia en las Islas nos abre una interesante línea de investigación.

Por otro lado, sería fundamental la realización de metalografías en piezas arqueológicas menorquinas, ya que, como hemos dicho, actualmente no disponemos de ninguna. Las metalografías nos darían la información necesaria para saber cuál era la tecnología utilizada para la producción de estos metales y también aportarían datos para el estudio de la procedencia de la materia prima.

En cuanto a intervenciones arqueológicas, se tiene prevista la excavación de una de las escom-

breras de Illa den Colom, así como un estudio más detallado de todo el complejo minero de Binifabini Vell. Ambos yacimientos nos pueden dar respuesta a muchas de las actuales incógnitas en cuanto a la metalurgia prehistórica de las Baleares.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Dr. Ferran Hierro (Serveis Científicotècnics de la Universitat de les Illes Balears) por su ayuda y asesoramiento. También damos nuestra más sincera gratitud a Octavi Pons y a Lluís Plantalamor (Museo de Menorca) por la ayuda prestada y su buena disposición hacia nosotros, así como también a Simón Gornés por sus acertadas observaciones. Así mismo, también, agradecemos a Miquel Trias y Lluís Florit la realización de la topografía de una de las minas de Binifabini, y a Jordi Fernández por su colaboración en la prospección de Illa den Colom.

Muestra	Topónimo	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	As2O3	ZrO2	Ag	Sb	BaO	Au	PbO
ME01B1G1	Ses Costes	nd	2,36	14,29	47,75	tr	1,92	1,52	10,62	0,90	nd	nd	2,20	nd	18,45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01B1G2	Ses Costes	nd	3,37	13,95	50,33	0,74	3,08	1,83	3,75	1,15	nd	nd	2,44	nd	19,35	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01B2G1	Ses Costes	nd	1,22	17,05	60,55	nd	1,97	1,96	5,10	0,49	nd	tr	1,55	nd	9,82	nd	nd	nd	nd	nd	0,29	nd	nd
ME01B2G2	Ses Costes	nd	3,08	11,25	36,92	nd	5,76	1,15	4,97	tr	nd	0,70	1,24	nd	34,94	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME01B3G1	Ses Costes	0,46	1,19	15,07	46,56	0,21	3,51	1,78	1,13	1,20	nd	0,50	1,26	nd	27,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01B3G2	Ses Costes	1,13	2,56	12,76	41,09	0,43	2,30	1,19	11,67	0,94	nd	tr	2,02	nd	23,90	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C1G1	Ses Costes	nd	1,28	16,60	51,07	tr	2,30	2,56	7,24	1,54	nd	nd	1,74	nd	15,66	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C1G2	Ses Costes	nd	2,30	11,92	44,74	2,51	1,91	1,25	20,26	1,05	nd	nd	2,01	nd	12,04	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C2G1	Ses Costes	nd	1,25	15,78	61,04	0,24	1,34	1,10	8,47	1,39	nd	nd	tr	nd	9,38	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C2G2	Ses Costes	nd	1,53	14,34	51,50	3,89	1,23	1,66	13,87	0,87	nd	nd	1,86	nd	9,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C3G1	Ses Costes	nd	3,94	5,75	8,47	nd	3,39	0,25	0,61	tr	nd	nd	2,20	nd	75,39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01C3G2	Ses Costes	nd	2,71	4,60	5,92	nd	2,32	0,52	0,60	0,97	nd	nd	2,56	nd	79,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D1G1	Ses Costes	nd	4,08	21,11	45,79	nd	nd	5,05	9,19	3,49	nd	tr	2,89	nd	8,41	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D1G2	Ses Costes	nd	3,79	15,29	52,48	nd	nd	3,47	8,89	1,88	nd	tr	3,01	nd	11,19	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D2G2	Ses Costes	nd	4,68	18,04	41,11	1,52	1,46	2,50	12,79	1,17	nd	tr	4,40	nd	12,34	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D2G3	Ses Costes	nd	4,84	10,54	16,23	2,35	7,30	1,09	2,90	tr	nd	tr	6,69	nd	48,06	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D3G1	Ses Costes	nd	4,11	9,66	32,85	8,97	0,34	1,48	23,99	tr	nd	tr	1,83	nd	16,78	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01D3G2	Ses Costes	nd	2,93	10,90	37,64	4,87	0,17	1,93	22,84	1,46	nd	nd	2,52	nd	14,74	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01E1G1	Ses Costes	nd	4,74	14,81	47,56	4,16	0,19	1,85	8,54	2,50	nd	0,77	5,25	nd	5,16	nd	nd	nd	nd	nd	4,46	nd	nd
ME01E1G2	Ses Costes	nd	5,94	13,40	45,22	0,89	1,10	1,38	7,13	tr	nd	1,55	6,88	nd	16,51	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME01E2G1	Ses Costes	nd	3,78	13,96	39,04	6,59	1,02	1,35	4,99	3,09	nd	0,87	5,79	nd	12,85	nd	nd	nd	nd	nd	6,68	nd	nd
ME01E2G2	Ses Costes	nd	2,37	12,47	30,46	0,39	3,27	1,22	1,71	0,29	nd	0,84	4,11	nd	42,03	nd	nd	nd	nd	nd	0,91	nd	nd
ME01E3G1	Ses Costes	nd	3,75	13,11	45,88	nd	0,44	1,49	6,31	1,00	nd	nd	5,06	nd	22,96	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01E3G2	Ses Costes	nd	3,21	23,02	48,82	nd	1,07	2,96	3,14	1,31	nd	nd	2,85	nd	13,63	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01F1G1	Ses Costes	nd	1,69	14,97	22,97	1,61	0,25	1,53	8,65	0,89	nd	nd	3,34	nd	44,10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01F1G2	Ses Costes	nd	1,62	17,46	29,35	tr	tr	2,53	2,78	1,26	nd	nd	2,27	nd	42,62	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01F2G1	Ses Costes	nd	1,44	13,55	18,26	tr	nd	1,91	1,38	nd	nd	nd	nd	nd	63,45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01F2G2	Ses Costes	nd	0,87	13,26	15,92	0,79	nd	1,89	0,74	nd	nd	nd	nd	nd	66,53	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01F3G1	Ses Costes	nd	2,07	10,45	12,58	0,50	0,51	1,36	2,26	nd	nd	nd	nd	nd	67,63	nd	nd	nd	nd	nd	2,66	nd	nd
ME01F3G2	Ses Costes	nd	1,74	9,47	8,43	4,19	tr	0,63	0,74	nd	nd	nd	nd	nd	74,80	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd
ME01G1G1	Ses Costes	nd	1,78	13,53	16,45	10,06	0,55	2,01	0,83	3,06	nd	nd	3,09	nd	48,64	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01G1G2	Ses Costes	nd	2,49	12,85	14,94	7,10	3,56	2,38	tr	1,77	nd	nd	3,60	nd	51,31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01G2G1	Ses Costes	nd	1,61	22,23	30,91	4,90	2,94	3,84	tr	1,50	nd	nd	2,57	nd	29,50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01G2G2	Ses Costes	nd	1,80	21,77	28,17	5,35	2,91	3,24	0,97	2,33	nd	nd	2,72	nd	30,73	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01G3G1	Ses Costes	nd	tr	8,61	11,47	18,75	tr	1,38	nd	4,91	nd	nd	7,02	nd	47,85	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01G3G2	Ses Costes	nd	1,10	13,95	17,71	7,32	0,84	2,71	nd	2,88	nd	nd	2,04	nd	51,44	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01H1G3	Ses Costes	nd	2,32	1,51	1,70	4,45	nd	nd	0,70	nd	nd	nd	nd	nd	89,31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01H1G4	Ses Costes	nd	2,98	2,59	19,35	14,36	nd	nd	1,49	nd	nd	nd	nd	nd	59,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01I2G1	Ses Costes	nd	1,98	11,29	15,25	7,74	0,08	1,12	6,49	nd	nd	nd	1,49	nd	54,54	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01I2G2	Ses Costes	nd	3,49	12,53	16,54	3,11	0,28	1,56	4,34	nd	nd	nd	tr	nd	58,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01I3G1	Ses Costes	nd	4,19	21,40	45,21	2,80	nd	3,82	7,34	2,47	nd	nd	1,18	nd	11,59	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME01I3G2	Ses Costes	nd	1,49	22,24	42,78	9,29	nd	4,89	9,31	2,36	nd	nd	2,12	nd	5,53	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02A1G1	Cala Morts	nd	1,50	12,73	50,44	0,63	4,29	1,41	0,50	0,80	nd	0,50	2,77	nd	24,43	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02A1G2	Cala Morts	nd	2,20	15,28	33,67	0,44	7,73	1,23	0,43	0,93	nd	tr	2,98	nd	35,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02A2G1	Cala Morts	nd	2,66	6,26	22,56	1,69	0,15	0,32	31,19	2,64	nd	7,02	1,72	nd	23,80	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd
ME02A2G2	Cala Morts	nd	1,76	9,51	25,53	7,12	0,40	0,72	13,11	9,75	nd	6,82	1,54	nd	23,75	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd
ME02A3G1	Cala Morts	nd	1,19	12,18	33,99	1,37	2,21	0,63	0,44	1,14	nd	nd	3,67	nd	43,17	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd
ME02A3G2	Cala Morts	nd	0,97	8,31	37,94	tr	7,21	0,86	0,70	0,82	nd	nd	3,05	nd	40,15	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd	nd
ME02F1G1	Cala Morts	nd	5,06	16,48	39,46	tr	2,86	2,17	5,79	1,44	nd	nd	3,55	nd	23,18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02F1G3	Cala Morts	nd	3,95	13,32	31,01	tr	3,61	1,93	3,10	1,74	nd	nd	2,49	nd	38,84	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02F2G1	Cala Morts	nd	5,08	4,01	6,52	2,83	10,86	0,82	1,28	3,27	nd	nd	12,98	nd	52,35	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd	nd
ME02F2G2	Cala Morts	nd	2,93	2,77	6,50	9,55	2,94	tr	1,02	1,53	nd	nd	38,83	nd	27,07	nd	nd	nd	nd	nd	6,87	nd	nd
ME02F3G1	Cala Morts	nd	2,16	17,95	41,82	nd	1,91	3,35	2,29	2,22	nd	nd	15,19	nd	13,12	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME02F3G2	Cala Morts	nd	3,40	11,36	30,09	nd	6,17	1,46	2,24	tr	nd	nd	6,36	nd	38,92	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Muestra	Topónimo	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	As2O3	ZrO2	Ag	Sb	BaO	Au	PbO
ME03A1G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	1,22	13,39	63,04	nd	nd	3,31	1,08	nd	nd	2,67	9,78	nd	5,50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03A1G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	1,02	11,91	66,40	nd	nd	2,94	0,79	nd	nd	0,77	7,27	nd	8,91	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03A2G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	0,98	11,36	70,55	nd	nd	3,21	3,36	0,80	nd	1,00	4,63	nd	4,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03A2G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	1,25	11,61	58,23	nd	nd	2,40	1,59	0,74	nd	tr	3,00	nd	21,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03A3G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	1,45	10,38	56,56	nd	nd	1,94	0,79	nd	nd	nd	3,10	nd	25,79	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03A3G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	1,66	12,49	59,54	nd	nd	2,88	1,20	nd	nd	nd	4,16	nd	18,06	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B1G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,50	16,86	54,76	nd	1,08	1,78	1,84	tr	nd	nd	3,58	nd	16,60	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B1G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,96	16,13	56,39	nd	0,77	2,87	5,46	1,29	nd	nd	4,48	nd	8,64	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B2G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,45	19,84	35,76	nd	nd	3,60	1,77	1,67	nd	nd	4,28	nd	29,64	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B2G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,59	22,57	52,01	nd	nd	2,89	1,11	1,47	nd	nd	4,35	nd	12,02	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B3G1	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,00	16,51	42,22	nd	3,24	2,68	1,32	1,31	nd	nd	3,84	nd	25,88	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME03B3G2	Minas de Sant Jorja 1	nd	3,62	18,80	56,48	nd	1,66	3,66	2,52	2,72	nd	nd	3,34	nd	7,21	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME04A1G2	Minas de Sant Jorja 2	nd	3,04	23,93	42,93	nd	tr	5,11	tr	1,33	nd	nd	8,11	nd	13,70	nd	tr	nd	nd	nd	1,85	nd	nd
ME04A1G3	Minas de Sant Jorja 2	nd	2,90	18,45	45,47	nd	tr	1,91	1,22	0,39	nd	nd	3,97	nd	23,44	nd	tr	nd	nd	nd	2,25	nd	nd
ME04A2G1	Minas de Sant Jorja 2	nd	2,72	20,72	40,79	2,39	1,85	3,40	0,84	1,42	nd	tr	6,47	nd	14,60	nd	nd	nd	nd	nd	4,80	nd	nd
ME04A2G2	Minas de Sant Jorja 2	nd	0,08	1,77	9,39	4,70	11,20	3,36	tr	1,61	nd	tr	tr	nd	59,50	nd	nd	nd	nd	nd	8,39	nd	nd
ME04A3G1	Minas de Sant Jorja 2	nd	2,15	20,10	53,86	nd	1,62	3,83	nd	0,82	nd	nd	6,66	nd	10,97	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME04A3G2	Minas de Sant Jorja 2	nd	1,12	16,65	43,84	nd	3,36	3,21	nd	0,84	nd	nd	4,23	nd	25,75	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME05A1G1	Cala Barril	nd	2,12	10,67	17,64	nd	8,63	1,75	tr	tr	nd	0,91	1,76	nd	57,52	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME05A1G2	Cala Barril	nd	1,23	20,52	50,70	nd	0,97	3,22	0,70	1,50	nd	2,38	5,21	nd	13,56	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME05A3G1	Cala Barril	tr	1,22	16,37	38,51	0,39	tr	2,08	0,70	0,62	nd	tr	35,66	nd	12,05	2,41	nd	tr	nd	tr	tr	nd	nd
ME05A3G2	Cala Barril	tr	0,88	14,50	39,34	tr	tr	1,45	0,38	0,72	nd	2,82	30,11	nd	8,01	1,78	nd	tr	nd	tr	tr	nd	nd
ME05A4G1	Cala Barril	tr	1,84	23,15	48,63	tr	1,27	4,74	0,70	2,29	nd	1,10	10,21	nd	4,25	1,82	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME05A4G2	Cala Barril	tr	1,54	24,13	47,92	0,41	0,91	4,38	0,52	tr	nd	1,02	11,33	nd	3,74	tr	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME06A1G1	Bnifabimí Vell 1	tr	2,12	1,25	2,03	24,43	5,14	nd	1,06	7,38	nd	nd	2,03	nd	19,85	nd	nd	nd	nd	nd	34,70	nd	nd
ME06A1G2	Bnifabimí Vell 1	14,38	tr	tr	tr	26,29	9,55	nd	0,35	tr	nd	nd	2,75	nd	8,17	nd	nd	nd	nd	nd	38,51	nd	nd
ME06A1G3	Bnifabimí Vell 1	12,07	tr	tr	tr	21,86	7,29	nd	0,71	tr	nd	nd	4,60	nd	6,82	nd	nd	nd	nd	nd	46,65	nd	nd
ME06A2G1	Bnifabimí Vell 1	3,26	0,71	nd	15,69	20,80	nd	5,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,04	nd	nd	nd	nd	nd	47,46	nd	nd
ME06A3G1	Bnifabimí Vell 1	2,83	2,84	nd	8,95	12,74	nd	6,06	nd	nd	nd	nd	13,22	nd	29,75	nd	nd	nd	nd	nd	23,62	nd	nd
ME06A4G1	Bnifabimí Vell 1	0,23	nd	nd	29,63	4,39	nd	5,12	nd	nd	nd	nd	5,12	nd	3,13	nd	nd	nd	nd	nd	57,49	nd	nd
ME08A1G1	Bnifabimí Vell 3	tr	1,57	27,42	31,34	nd	nd	0,39	1,70	tr	tr	11,82	8,12	nd	0,72	4,80	nd	tr	nd	nd	nd	12,12	nd
ME08A1G2	Bnifabimí Vell 3	tr	2,42	26,48	31,68	nd	nd	0,62	4,22	tr	tr	8,58	8,93	nd	0,96	8,51	nd	tr	nd	nd	nd	7,61	nd
ME08A2G1	Bnifabimí Vell 3	nd	3,02	25,27	30,81	nd	nd	1,14	3,36	nd	nd	9,71	5,85	nd	2,11	7,86	nd	nd	nd	nd	nd	10,87	nd
ME08A2G2	Bnifabimí Vell 3	nd	2,45	21,41	25,45	nd	nd	0,70	2,75	nd	nd	13,81	6,22	nd	1,91	7,37	nd	nd	nd	nd	nd	17,93	nd
ME08A3G1	Bnifabimí Vell 3	nd	1,776	11,46	18,01	nd	nd	1,31	30,47	tr	nd	5,17	8,13	nd	1,27	3,01	nd	nd	nd	nd	nd	3,41	nd
ME08A3G2	Bnifabimí Vell 3	nd	1,994	9,99	15,56	nd	nd	2,10	36,38	tr	nd	1,00	6,07	nd	2,84	6,11	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME08B1G1	Bnifabimí Vell 3	nd	tr	2,37	7,91	tr	0,30	tr	tr	tr	nd	nd	tr	nd	8,03	77,56	nd	nd	nd	nd	nd	3,84	nd
ME08B1G2	Bnifabimí Vell 3	nd	tr	2,02	10,08	tr	0,52	tr	0,80	tr	nd	nd	3,04	nd	7,15	71,97	nd	nd	nd	nd	nd	4,43	nd
ME08B2G1	Bnifabimí Vell 3	nd	2,15	1,95	10,75	tr	nd	0,49	1,77	nd	nd	1,23	2,14	nd	6,62	67,32	nd	nd	nd	nd	nd	5,58	nd
ME08B2G2	Bnifabimí Vell 3	nd	1,78	2,56	11,15	tr	nd	0,62	1,31	nd	nd	1,04	1,96	nd	6,71	66,71	nd	nd	nd	nd	nd	6,16	nd
ME08B3G1	Bnifabimí Vell 3	tr	3,26	4,89	13,49	tr	tr	0,62	2,12	0,96	nd	1,75	3,04	nd	1,11	53,96	nd	nd	nd	nd	nd	14,79	nd
ME08B3G2	Bnifabimí Vell 3	0,10	1,46	3,14	5,52	tr	tr	0,68	1,57	tr	nd	1,78	3,05	nd	2,07	29,21	nd	nd	nd	nd	nd	51,43	nd
ME08C1G1	Bnifabimí Vell 3	tr	5,61	5,76	6,91	nd	10,95	1,04	5,95	nd	tr	tr	10,14	nd	24,19	5,35	nd	nd	nd	nd	nd	24,10	nd
ME08C1G2	Bnifabimí Vell 3	tr	15,39	11,14	12,31	nd	3,02	1,35	19,26	nd	tr	2,40	10,13	nd	5,93	7,86	nd	nd	nd	nd	nd	11,20	nd
ME08C4G1	Bnifabimí Vell 3	12,04	10,20	6,75	7,72	nd	6,50	1,40	16,87	nd	tr	1,66	10,17	tr	8,23	5,16	nd	nd	nd	nd	nd	13,30	nd
ME08C4G2	Bnifabimí Vell 3	5,74	10,77	16,07	14,17	nd	3,66	tr	15,93	nd	nd	1,05	6,45	tr	2,51	4,47	nd	nd	nd	nd	nd	19,17	nd
ME08C5G1	Bnifabimí Vell 3	2,10	14,72	8,61	8,87	nd	1,52	1,45	22,01	nd	nd	tr	12,19	nd	8,41	6,12	nd	nd	nd	nd	nd	14,01	nd
ME08C5G2	Bnifabimí Vell 3	0,65	15,84	4,91	4,37	nd	2,83	0,59	26,78	nd	nd	0,69	2,85	nd	19,18	6,33	nd	nd	nd	nd	nd	14,97	nd
ME10A1G1	Bnifabimí Vell 5	1,50	21,61	6,74	8,48	6,59	tr	0,62	25,10	nd	nd	7,64	13,39	nd	4,41	3,92	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME10A2G1	Bnifabimí Vell 5	11,95	17,27	7,65	11,14	3,76	8,73	tr	23,02	nd	nd	4,24	9,11	nd	3,13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME10A2G2	Bnifabimí Vell 5	8,43	16,55	8,41	14,10	4,51	6,90	1,43	28,96	nd	nd	tr	7,02	nd	3,69	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME10A3G1	Bnifabimí Vell 5	7,18	3,37	4,37	5,27	0,11	4,91	0,45	4,10	1,02	nd	28,13	15,30	7,45	11,45	6,89	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME10A3G2	Bnifabimí Vell 5	19,86	7,34	8,93	10,61	4,90	14,25	1,39	5,76	tr	nd	11,97	4,10	3,91	7,04	tr	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd
ME10A3G3	Bnifabimí Vell 5	11,38	13,01	7,84	11,22	4,01	6,72	1,00	14,29	tr	nd	11,95	7,55	3,69	7,55	tr	nd	nd	nd	tr	tr	tr	nd
ME10B1G1	Bnifabimí Vell 5	nd	9,20	9,00	10,47	nd	3,78	1,12	15,37	nd	nd	4,68	20,75	nd	7,45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	18,17	nd
ME10B1G2	Bnifabimí Vell 5	nd	18,47	9,23	12,11	nd	1,40	1,45	29,49	nd	nd	0,95	3,94	nd	12,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10,87	nd

Muestra	Topónimo	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	As2O3	ZrO2	Ag	Sb	BaO	Au	PbO
ME10B2G1	Bnifabini Vell 5	nd	13,98	8,08	9,65	nd	2,63	0,85	16,62	nd	nd	tr	3,40	nd	35,36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,44
ME10B2G2	Bnifabini Vell 5	nd	14,00	8,61	8,64	nd	2,52	0,95	19,63	nd	nd	tr	4,78	nd	27,31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13,56
ME10B4G1	Bnifabini Vell 5	nd	16,69	11,51	14,97	nd	1,22	2,00	27,79	nd	nd	tr	4,77	nd	14,95	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,13
ME10B5G2	Bnifabini Vell 5	nd	8,43	14,31	15,36	nd	2,00	0,93	10,04	nd	nd	nd	11,37	nd	26,47	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,10
ME10C3G1	Bnifabini Vell 5	5,87	25,79	1,45	2,31	nd	4,22	0,18	36,24	nd	nd	1,94	9,93	nd	12,07	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr
ME10C3G2	Bnifabini Vell 5	5,60	26,02	2,97	3,11	nd	4,15	0,16	32,29	nd	nd	1,75	11,08	nd	7,58	5,24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05
ME10C4G1	Bnifabini Vell 5	2,36	18,43	1,91	1,74	nd	1,70	0,57	28,25	nd	nd	5,83	5,92	nd	7,05	8,81	nd	nd	nd	nd	nd	nd	17,42
ME10C4G2	Bnifabini Vell 5	7,93	22,93	1,33	1,10	nd	2,41	0,26	30,52	nd	nd	6,30	2,74	nd	5,01	7,66	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,81
ME10C5G1	Bnifabini Vell 5	22,21	14,89	2,71	2,67	nd	3,03	0,17	14,90	nd	nd	2,61	9,87	nd	10,87	4,99	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,10
ME10C5G2	Bnifabini Vell 5	14,78	10,48	0,18	0,47	nd	6,77	0,23	17,13	nd	nd	6,16	13,97	nd	4,79	4,78	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20,27
ME11A1G1	Pla de Mar 1	nd	4,76	10,69	15,17	nd	9,79	1,14	0,51	1,05	nd	nd	4,25	nd	52,65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME11A1G2	Pla de Mar 1	nd	4,93	12,63	18,94	nd	8,61	1,68	0,60	0,85	nd	nd	4,08	nd	47,68	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME11A2G1	Pla de Mar 1	nd	2,27	9,78	24,22	nd	tr	1,86	tr	0,86	nd	0,92	2,54	nd	57,55	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME11A2G2	Pla de Mar 1	nd	2,13	11,11	25,39	nd	0,42	1,45	0,71	1,36	nd	tr	2,53	nd	54,90	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME11A3G1	Pla de Mar 1	nd	3,27	6,00	10,01	1,50	2,45	1,18	1,06	2,92	nd	nd	3,48	nd	68,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME11A3G2	Pla de Mar 1	nd	3,55	5,46	7,89	1,06	2,93	0,79	0,97	1,22	nd	nd	2,10	nd	74,03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A1G1	Pla de Mar 2	nd	2,61	20,01	40,13	0,89	3,53	2,33	3,17	0,99	nd	nd	2,60	nd	23,73	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A1G2	Pla de Mar 2	nd	2,41	16,14	41,05	4,97	2,34	2,18	2,15	0,89	nd	nd	3,22	nd	24,65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A2G1	Pla de Mar 2	nd	2,20	17,44	32,69	4,84	2,63	2,59	1,68	nd	nd	nd	6,71	nd	29,22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A2G2	Pla de Mar 2	nd	3,54	10,38	25,72	4,62	7,11	1,55	1,68	nd	nd	nd	2,93	nd	42,47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A3G1	Pla de Mar 2	nd	3,13	6,73	22,10	2,45	4,90	0,95	26,92	nd	nd	nd	2,78	nd	30,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12A3G2	Pla de Mar 2	nd	3,84	6,74	20,57	1,38	6,77	0,69	13,25	nd	nd	nd	2,58	nd	44,18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B1G1	Pla de Mar 2	9,10	2,29	7,80	13,24	6,65	10,26	0,91	1,50	0,75	nd	nd	4,09	nd	43,41	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B1G2	Pla de Mar 2	6,30	2,87	12,00	23,34	1,70	8,51	1,98	0,95	0,97	nd	nd	3,25	nd	38,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B2G1	Pla de Mar 2	16,47	2,29	6,68	11,59	5,17	13,63	0,97	tr	nd	2,07	nd	1,42	nd	39,71	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B2G2	Pla de Mar 2	12,10	2,31	9,27	16,12	5,73	12,77	1,55	1,61	nd	0,99	nd	1,51	nd	36,06	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B3G1	Pla de Mar 2	9,77	2,02	6,97	10,48	8,79	8,93	0,69	0,74	tr	1,15	nd	2,05	nd	48,41	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12B3G2	Pla de Mar 2	5,10	4,80	16,32	26,45	4,12	6,61	2,38	1,76	1,52	7,14	nd	4,52	nd	19,28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME12C1G1	Pla de Mar 2	8,06	3,35	6,52	12,03	6,90	11,94	0,88	5,67	nd	nd	nd	1,55	nd	43,09	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME12C1G2	Pla de Mar 2	7,33	3,89	6,29	9,75	9,23	10,32	0,63	5,22	nd	nd	nd	1,97	nd	45,37	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME12C2G1	Pla de Mar 2	10,98	4,27	12,21	25,59	1,29	10,42	1,65	4,39	tr	0,78	nd	3,23	nd	25,18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME12C2G2	Pla de Mar 2	2,73	6,74	17,57	27,67	4,53	4,04	1,42	8,35	0,98	nd	1,22	2,27	nd	22,47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME12C3G1	Pla de Mar 2	6,76	3,33	11,27	18,81	11,79	8,36	1,65	6,81	0,96	nd	nd	3,13	nd	27,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME12C3G2	Pla de Mar 2	tr	3,00	6,75	14,77	22,11	4,28	0,83	8,44	0,98	nd	nd	1,96	nd	36,89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd
ME13A3G1	Santa Creueta	nd	1,24	15,97	66,36	nd	tr	3,03	3,50	1,35	nd	1,67	3,14	nd	3,73	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME13A3G2	Santa Creueta	nd	1,28	14,58	67,62	nd	tr	2,30	2,75	0,89	nd	tr	5,38	nd	5,19	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME13A3G3	Santa Creueta	nd	1,54	14,93	52,78	nd	0,29	2,37	14,37	tr	nd	tr	3,94	nd	9,79	nd	tr	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME13A4G1	Santa Creueta	nd	2,15	20,91	44,74	tr	nd	4,22	nd	nd	nd	tr	2,78	nd	25,20	nd	tr	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME13A4G2	Santa Creueta	nd	1,30	12,98	52,75	5,49	nd	1,98	nd	nd	nd	1,53	4,37	nd	9,90	nd	tr	nd	nd	tr	9,71	nd	
ME13A5G1	Santa Creueta	nd	1,25	18,70	56,47	4,47	nd	3,33	tr	tr	nd	0,77	1,66	nd	6,56	nd	tr	nd	nd	tr	6,80	nd	
ME15A1G1	Son Arrret	nd	3,03	13,11	23,78	0,91	0,48	1,78	1,09	1,28	nd	nd	2,19	nd	52,36	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME15A1G2	Son Arrret	nd	1,90	13,70	28,28	0,93	tr	1,98	1,55	2,28	nd	nd	2,76	nd	46,61	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME15A2G1	Son Arrret	nd	5,17	16,75	41,35	tr	nd	3,85	11,35	2,07	nd	3,24	6,25	nd	9,97	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME15A2G2	Son Arrret	nd	3,72	16,90	42,04	tr	nd	2,75	5,05	2,11	nd	1,03	3,37	nd	23,03	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME15A3G1	Son Arrret	nd	5,72	13,57	37,29	0,98	0,75	2,45	10,63	1,96	nd	tr	5,74	nd	20,91	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME15A3G2	Son Arrret	nd	4,86	14,64	38,22	tr	tr	2,53	6,45	1,85	nd	1,07	4,32	nd	26,05	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16A1G1	Son Gras	nd	3,08	22,53	44,71	0,95	nd	5,77	4,37	2,33	nd	nd	2,66	nd	13,61	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16A1G2	Son Gras	nd	2,83	24,03	49,87	0,89	nd	5,81	3,14	2,02	nd	nd	3,29	nd	8,12	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16A2G1	Son Gras	nd	3,19	19,38	50,11	0,60	nd	4,93	4,99	2,10	nd	1,69	3,58	nd	9,43	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16A2G2	Son Gras	nd	3,41	21,62	48,12	2,32	nd	4,75	3,90	4,33	nd	1,49	3,17	nd	6,89	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16A3G1	Son Gras	nd	2,08	24,92	49,25	3,26	nd	5,77	1,17	det	nd	0,79	3,04	nd	3,15	nd	nd	nd	nd	tr	6,56	nd	nd
ME16A3G2	Son Gras	nd	1,91	25,03	48,44	2,96	nd	5,32	1,01	3,32	nd	0,68	3,06	nd	5,66	nd	nd	nd	nd	tr	2,62	nd	nd
ME16B1G1	Son Gras	nd	6,93	13,32	45,04	1,23	nd	1,73	11,97	2,54	nd	nd	1,99	nd	15,25	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16B1G2	Son Gras	nd	7,74	17,20	39,86	0,68	nd	2,48	13,05	1,44	nd	nd	2,49	nd	15,07	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd
ME16B2G1	Son Gras	nd	4,40	15,98	37,65	3,22	nd	3,00	5,92	3,32	nd	1,23	3,32	nd	18,93	nd	nd	nd	nd	tr	3,97	nd	nd
ME16B2G2	Son Gras	nd	6,71	17,81	40,93	0,81	nd	3,57	11,75	2,07	nd	0,94	2,77	nd	12,64	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	nd

Muestra	Topónimo	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	As2O3	ZrO2	Ag	Sb	BaO	Au	PbO
ME16B3G1	Son Gras	nd	10,37	13,55	34,00	nd	nd	2,43	25,14	2,11	nd	1,22	3,54	nd	7,63	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME16B3G2	Son Gras	nd	10,22	13,17	27,81	nd	nd	2,54	25,29	0,77	nd	2,25	7,74	nd	10,21	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME16C1G1	Son Gras	nd	1,93	23,83	53,68	tr	nd	4,84	1,04	2,34	nd	2,50	4,25	nd	5,59	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME16C1G2	Son Gras	nd	1,58	19,78	49,05	0,58	nd	5,51	1,91	3,06	nd	4,39	5,66	nd	8,48	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME16C2G1	Son Gras	nd	1,99	22,28	49,21	nd	nd	4,90	1,36	1,78	nd	0,88	2,71	nd	14,89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr
ME16C2G2	Son Gras	nd	2,09	21,78	55,05	nd	nd	4,68	1,76	1,10	nd	1,47	6,97	nd	5,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr
ME16C3G1	Son Gras	nd	1,60	13,06	70,71	tr	nd	2,28	4,59	2,33	nd	0,62	2,37	nd	2,44	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME16C3G2	Son Gras	nd	11,04	9,28	19,71	4,60	nd	0,31	17,81	1,40	nd	4,47	19,56	nd	5,09	nd	nd	nd	nd	nd	6,73	nd	nd
ME17A1G1	Estància de N'Algorrent	nd	2,03	18,55	38,28	nd	nd	2,12	0,75	1,21	nd	nd	2,08	nd	34,98	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME17A1G2	Estància de N'Algorrent	nd	1,79	18,52	48,86	nd	nd	3,32	1,39	2,21	nd	nd	2,59	nd	21,33	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME17A2G1	Estància de N'Algorrent	nd	1,84	18,27	36,38	tr	nd	2,44	0,35	2,10	nd	nd	2,44	nd	36,17	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME17A2G2	Estància de N'Algorrent	nd	2,13	17,29	34,69	tr	nd	2,97	1,75	1,50	nd	nd	2,69	nd	36,98	nd	tr	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME17A3G1	Estància de N'Algorrent	nd	1,64	12,34	43,15	6,11	nd	2,08	0,73	0,86	nd	tr	2,32	nd	30,77	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME17A3G2	Estància de N'Algorrent	nd	2,27	11,27	54,84	3,75	nd	1,96	2,32	tr	nd	1,88	2,32	nd	19,39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME18A1G1	Bnifalla	nd	1,53	17,91	31,77	12,29	2,18	3,35	8,86	1,74	nd	2,70	6,01	nd	11,65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME18A1G2	Bnifalla	nd	0,90	9,18	31,92	19,89	3,54	1,37	12,77	1,13	nd	1,01	2,13	nd	16,15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ME18A2G1	Bnifalla	nd	3,07	9,65	45,86	3,33	0,59	0,69	3,73	0,72	nd	3,72	9,97	nd	18,67	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18A2G2	Bnifalla	nd	3,04	6,98	38,92	4,26	4,42	0,80	4,13	0,90	nd	2,78	6,63	nd	27,13	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18A3G1	Bnifalla	nd	1,99	6,99	34,97	5,62	1,73	0,48	1,99	0,63	nd	2,33	10,87	nd	32,41	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18A3G2	Bnifalla	nd	2,34	7,77	35,42	19,24	1,00	1,05	17,46	0,97	nd	1,46	3,46	nd	9,83	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B1G1	Bnifalla	nd	1,98	20,38	41,58	0,75	0,22	3,66	1,68	1,37	nd	1,20	5,72	nd	21,47	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B1G2	Bnifalla	nd	2,10	21,67	42,51	0,50	0,20	3,84	1,84	1,55	nd	1,23	6,26	nd	18,30	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B2G1	Bnifalla	nd	1,18	23,33	38,78	1,09	0,23	4,17	1,24	2,24	nd	1,50	13,03	nd	13,22	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B2G2	Bnifalla	nd	1,39	22,29	34,57	0,57	0,31	4,49	1,22	2,74	nd	3,03	15,74	nd	13,64	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B3G1	Bnifalla	nd	1,71	14,68	45,04	1,88	0,15	2,34	1,37	1,64	nd	3,61	6,16	nd	21,42	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME18B3G2	Bnifalla	nd	1,14	12,22	49,03	1,76	0,23	1,52	1,47	1,09	nd	4,11	4,94	nd	22,49	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19A1G1	Illa den Colom	nd	1,17	18,60	57,32	nd	1,42	3,83	1,46	0,91	nd	nd	6,49	nd	8,80	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19A1G2	Illa den Colom	nd	1,45	18,53	48,09	nd	3,49	3,36	0,95	0,74	nd	nd	4,57	nd	18,82	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19A2G1	Illa den Colom	2,32	2,05	19,69	35,90	1,36	2,32	3,64	2,08	1,01	nd	1,11	3,96	nd	24,56	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	tr
ME19A2G2	Illa den Colom	3,05	2,18	16,63	32,90	1,50	2,87	2,75	2,26	0,71	nd	1,00	4,43	nd	29,73	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	tr
ME19A3G1	Illa den Colom	nd	1,51	5,34	7,89	nd	11,25	0,42	1,27	nd	nd	nd	13,77	nd	58,55	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19A3G2	Illa den Colom	nd	0,34	2,10	5,26	nd	18,34	tr	2,38	nd	nd	nd	3,71	nd	67,87	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B1G1	Illa den Colom	nd	1,58	4,49	7,90	nd	3,14	0,46	0,50	0,65	nd	nd	3,37	nd	77,91	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B1G2	Illa den Colom	nd	2,19	6,52	13,19	nd	5,20	0,91	0,72	0,82	nd	nd	3,06	nd	67,38	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B2G1	Illa den Colom	nd	1,11	10,05	53,44	nd	3,91	1,55	1,52	0,91	nd	nd	4,44	nd	23,07	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B2G2	Illa den Colom	nd	1,80	6,57	46,26	nd	6,21	0,94	0,64	0,69	nd	nd	4,76	nd	32,13	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B3G1	Illa den Colom	nd	0,80	4,08	70,47	tr	1,54	0,41	0,50	tr	nd	nd	7,36	nd	14,84	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME19B3G2	Illa den Colom	nd	2,99	5,17	31,07	0,83	7,64	0,74	0,89	0,88	nd	nd	10,53	nd	39,25	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME22A1G1	Son Tema	nd	2,20	0,71	1,67	24,79	nd	0,22	7,36	nd	nd	1,10	5,06	nd	10,14	nd	nd	nd	nd	nd	46,75	nd	nd
ME22A1G2	Son Tema	nd	19,19	1,41	2,44	8,37	nd	0,77	33,90	nd	nd	2,06	8,09	nd	7,09	nd	nd	nd	nd	nd	16,69	nd	nd
ME22A2G1	Son Tema	nd	22,34	1,21	2,37	nd	nd	tr	43,80	1,15	nd	1,50	7,26	nd	20,35	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME22A2G2	Son Tema	nd	17,56	2,17	4,10	nd	nd	0,51	25,95	0,71	nd	3,05	7,54	nd	38,40	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME22A3G1	Son Tema	nd	25,61	1,22	1,81	0,71	nd	0,25	34,91	0,80	nd	4,66	7,65	nd	22,39	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME22A3G2	Son Tema	nd	25,48	1,20	1,68	tr	nd	0,46	43,88	1,16	nd	5,70	12,29	nd	8,14	nd	nd	nd	nd	nd	tr	nd	nd
ME22C1G1	Son Tema	nd	3,48	0,79	2,53	22,73	nd	0,32	11,23	nd	nd	1,37	6,86	nd	5,46	nd	nd	nd	nd	nd	45,22	nd	nd
ME22C1G2	Son Tema	nd	5,97	3,28	7,58	15,05	nd	0,41	3,45	nd	nd	1,94	11,20	nd	26,52	nd	nd	nd	nd	nd	24,61	nd	nd
ME22C2G1	Son Tema	nd	9,48	0,36	4,49	10,17	nd	nd	1,78	nd	nd	0,62	9,16	nd	57,71	nd	nd	tr	nd	nd	6,22	nd	tr
ME22C2G2	Son Tema	nd	7,28	tr	3,03	9,28	nd	nd	3,26	nd	nd	0,52	9,05	nd	53,04	nd	nd	tr	nd	nd	14,43	nd	tr
ME22C3G1	Son Tema	nd	2,62	1,07	1,97	20,02	nd	0,73	2,93	nd	nd	2,10	8,22	nd	20,89	nd	nd	nd	nd	nd	39,45	nd	nd
ME22C3G2	Son Tema	nd	0,26	tr	1,52	29,32	nd	0,28	4,95	nd	nd	tr	tr	nd	8,18	nd	nd	nd	nd	nd	55,48	nd	nd

Tabla 1. Anàlisis químic de las muestras (nd= no detectado, tr= elementos traza, det= detectado pero no cuantificable).

BIBLIOGRAFÍA

- ALCOVER, J.A.; TRIAS, M. y ROVIRA, S. 2007: "Noves balmes metal·lúrgiques a les muntanyes d'Escorca i de Pollença". *Endins* 31: 161-178.
- ARMSTRONG, J. 1752: *The history of the island of Minorca*. Londres.
- CALVO, M. y GUERRERO, V. M. 2002: *Los inicios de la metalurgia en Baleares. El Calcolítico (c. 2500-1700 cal. BC)*. El Tall, Palma de Mallorca.
- CARTAILHAC, E. 1892: *Monuments primitifs des îles Baléares*. Toulouse.
- CHARLES, J. A. 1967: "Early arsenical bronzes: a metallurgical view". *American Journal of Archaeology* 71 (1): 21-26.
- COLOMINES, J. 1923: "L'Edat del Bronze a Mallorca. Les investigacions de l'institut (1916-1920)". *Anuari MCMXV-XX*. VI, Institut d'Estudis Catalans. Barcelona: 555-573.
- DELIBES DE CASTRO, G. y FERNÁNDEZ-MIRANDA, M. 1988: *Armas y utensilios de bronce en la Prehistoria de Baleares*. *Studia Archaeologica*, 78, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- DELIBES DE CASTRO, G.; FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; FERNÁNDEZ-POSSE, M. D.; MARTÍN, C.; ROVIRA LLORENS, S. y SANZ, M. 1989: "Almizaraque (Almería): Minería y metalurgia calcolíticas en el Sureste de la Península Ibérica". En C. DOMERGUE (coord.): *Minería y Metalurgia de las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas* I. Madrid. 81-96.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1998: "Estudio preliminar de vasijas de reducción y crisoles inéditos del yacimiento campaniforme del Camino de la Yesera (Getafe, Madrid)". *CuPAUAM* 25 (1): 119-134.
- LLULL, B.; PERELLÓ, L. y SALVÀ, B. en prensa: "Nuevas aportaciones para el estudio de la explotación de cobre durante la Prehistoria de las Islas Baleares". *V Simposio internacional sobre minería y metalurgia históricas en el suroeste europeo. Homenaje a Claude Domergue*. León-España, 19-21 de junio de 2008. Universidad de León.
- LUIS SALVADOR, Archiduque 1982: *La Isla de Menorca en texto e imágenes (parte especial)*. Tomo II, Caja de Baleares "Sa Nostra", Palma de Mallorca.
- MONTERO, I.; GORNÉS, J. S.; NICOLÁS, J. D. y GUAL, J. 2005: "Aproximación a la metalurgia prehistórica de Menorca entre el 2000 y el 650 cal AC." *Mayurqa* 30: 289-306.
- PERELLÓ, L.; LLULL, B. y SALVÀ, B. 2010: "El coure balear: explotació a la Prehistòria?". *Mayurqa* 33: 63-75.
- RAMIS, D.; HAUPTMANN, A. y COLL, J. 2005a: «Réduction du minerai de cuivre dans la préhistoire de Majorque». En P. Ambert y J. Vaquer (Ed.): *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international, Carcassonne, 28-30 de Septembre 2002*. Pôle éditorial archéologique de l'Ouest. Rennes: 217-224.
- RAMIS, D.; TRIAS, M.; HAUPTMANN, A. y ALCOVER, J. A. 2005b: "Metal·lúrgia prehistòrica del coure a les muntanyes d'Escorca-Pollença (Mallorca)". *Endins* 27: 19-46.
- RITA, M. C. 1987: "Evolución de la cultura pretalayotica menorquina a través de los yacimientos de Morellet y Son Mercer de Baix". *La Sardegna nel Mediterraneo tra il secondo e il primo millennio a.C. Atti del II convegno di studi 'Un millennio di relazioni fra la Sardegna e i paesi del Mediterraneo', Selargius-Cagliari 27-30 novembre 1986*. Cagliari. 547-555.
- ROVIRA, S. 1999: "Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica: el caso de Gorny en la región de Kargaly (Orenburg, Rusia)". *Trabajos de Prehistoria* 56 (2): 85-113.
- ROVIRA, S. 2003: "Els objectes de metall del sepulcre megalític". En V. M. Guerrero; M. Calvo y J. Coll (coord.): *El dolmen de S'Aigua Dolça (Colònia de Sant Pere, Mallorca)*. Col·lecció la Deixa 5. Consell de Mallorca. Palma de Mallorca: 140-145.
- ROVIRA, S.; MONTERO, I. y CONSUEGRA, S. 1991: "Metalurgia talayotica reciente: nuevas aportaciones". *Trabajos de Prehistoria* 48: 51-74.
- SHALEV, S. 1988: "Redating the 'Philistine sword' at the British Museum: a case study in typology and technology". *Oxford Journal of Archaeology* 7 (3): 303-311.
- STOS-GALE, S. 1999: "Informe sobre los análisis de artefactos metálicos e la Cova des Càrritx, Es Forat de Ses Aritges y la Cova des Mussol". En V. Lull; R. Micó; C. Rihuete y R. Risch: *Ideología y sociedad en la prehistoria de Menorca: la Cova des Càrritx y la Cova des Mussol*. *Consell Insular de Menorca*, Ajuntament de Ciutadella, Fundació Rubió Tudurí Andròmaco. Barcelona. 643-650.
- VENY, C. 1968: *Las cuevas sepulcrales del Bronce Antiguo en Mallorca*. IX, Biblioteca Praehistorica Hispana, Madrid.

EL BARRIO METALÚRGICO DE VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLA): PROCESOS DE PRODUCCIÓN VINCULADOS A LA MANUFACTURA DE PRODUCTOS DE COBRE*

THE SMELTING QUARTER OF VALENCINA DE LA CONCEPCIÓN (SEVILLE): PRODUCTION PROCESSES ASSOCIATED TO THE COPPER PRODUCTS MANUFACTURE

Moisés Rodríguez Bayona (1) / Francisco Nocete Calvo (1) / Reinaldo Sáez Ramos (2) / José Miguel Nieto Liñán (2) / Nuno Miguel de Franco Inácio (1) / Daniel Abril López (1)

(1) Dpto. de Historia I, Facultad de Humanidades, Universidad de Huelva

(2) Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva

RESUMEN: El concepto y la percepción de la metalurgia prehistórica, de su desarrollo cronológico, tecnológico y social, ha sido modificado desde la aportación de los Proyectos de Investigación del Grupo MIDAS III MILENIO A.N.E. de la Universidad de Huelva .

La evaluación y análisis de la actividad metalúrgica en Valencina de la Concepción ha permitido la definición de un complejo sistema de producción, donde los indicadores arqueológicos señalan un nivel diferenciado y superior de desarrollo tecnológico respecto a sitios de su misma cronología (III Milenio anterior a nuestra era). Además, sus contextos sociales y la división técnica y espacial del trabajo, indican la existencia de un barrio industrial de producción metalúrgica especializada (Nocete et al. 2008).

Este trabajo presenta los resultados de la definición de los procesos tecnológicos de fabricación de productos metálicos mediante la aplicación de una metodología basada en el análisis textural y composicional por MEB, en el estudio microestructural mediante metalografía microscópica y en la evaluación de las propiedades mecánicas a través de mediciones de microdurezas en microdurómetro.

Los resultados de estos estudios metalográficos siguen sugiriendo un modelo tecnológico distinto y complementario del principalmente manejado, modificando hipótesis pero, sobre todo, ampliando los límites del debate científico (Rodríguez Bayona 2008).

SUMMARY: The concept and perception of prehistoric metallurgy, its chronological, technological and social development, has been modified after the publication of the results of research projects developed by "MIDAS III MILENIO ANE" Group (University of Huelva).

The assessment and analysis of metallurgical activity in Valencina de la Concepción has allowed the definition of a complex production system, where archaeological indicators point to a different and higher level of technological development compared with sites of same chronology. Moreover, their social contexts and the technological and spatial division of labor, suggest the existence of a specialized smelting quarter in this settlement (Nocete et al. 2008).

This paper presents the results of technological processes associated to manufacture of metal products, by implementing a methodology based on textural and compositional analysis by SEM, the microstructural analysis by metallography and, finally, microscopic evaluation of mechanical properties by Vickers Microhardness measurements.

The results based on metallographic analysis suggest a different but complementary technological model, modifying and extending the assumptions of scientific debate (Rodríguez Bayona 2008).

PALABRAS CLAVE: Tercer Milenio A.N.E., metalurgia del cobre, barrio metalúrgico, técnicas de producción, análisis metalográficos, modelos históricos.

KEY WORDS: Third millennium B.C.E., copper metallurgy, smelting quarter, production techniques, metallographics analyses, historical models.

I. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la historiografía arqueológica prehistórica del suroeste andaluz, hasta hace pocas décadas, representaba un ejemplo paradigmático de resistencia y perpetuamiento del posicionamiento general positivista (Orihuela 1999: 17) donde la investigación se limitaba a la adaptación de modelos interpretativos aplicados en otras áreas geográficas en base al simple mecanismo de la inducción precientífica. Por tanto, *historicismo* y el *anticientifismo positivista* (Vicent 1982), prácticas arqueográficas basadas en la descripción (Martínez Navarrete 1989: 18), *empirismo de corte decimonónico*, *fósiles directores*, *paralelismos* y *difusionismo*, parecían ser los adjetivos que definían y configuraban nuestra disciplina (Nocete 2004).

El marco teórico-metodológico en el que se desarrolla la investigación de la actividad metalúrgica, va a determinar que ésta sea tomada como termómetro del nivel de desarrollo de las sociedades, por la obsesión de la disciplina arqueológica por demostrar los fundamentos evolucionistas basados meramente en aspectos tecnológicos (Nocete y Linares 1999: 50) y dado también el supuesto y paradigmático poder de periodización y fasificación cultural que se concedía a la misma. Esto supuso la conversión de la metalurgia en fósil director y, paralelamente, la alimentación del posicionamiento *artefactocéntrico* (García Sanjuán 1999), lo que implicó la “confusión de los objetivos históricos con los objetivos y discusiones técnicas de una arqueografía empirista” (Nocete *et al.* 1993: 386 y 388), es decir, la confusión entre objetos y objetivos.

En este contexto, comienzan a desarrollarse los Proyectos Generales de investigación, autonómicos (ODIEL I y II) y nacionales (PIGMALION I, II y III: PB 98-0958 / BHA20021-0437-C02-02 / HUM2005-02814/HIST), desarrollados por el Grupo *MIDAS III MILENIO A.N.E.* de la Universidad de Huelva, centrados en la exploración del proceso de relaciones centro/periferia de la sociedad clasicista inicial en su articulación de la organización técnica y social de la producción metalúrgica del cobre durante el Tercer Milenio A.N.E.

Los resultados iniciales de la investigación

sistemática en el yacimiento arqueológico de *Cabezo Juré* (Nocete 2004; Nocete *et al.* 1999a, b, 2001 y 2005a) permitieron caracterizar, por primera vez en el suroeste de la Península Ibérica, y en su principal distrito minero, la Faja Pirítica Ibérica (Sáez *et al.* 1999), la organización técnica y social de la producción metalúrgica del cobre a través de este asentamiento especializado. Se inicia así una trayectoria de investigación desde la que, paulatinamente, los conceptos y la percepción de la metalurgia prehistórica, de su desarrollo cronológico, tecnológico y social, han ido siendo completados y, en definitiva, modificados.

El salto desde el Andévalo onubense hasta el bajo valle del Guadalquivir, con *Valencina de la Concepción* como referente principal, lo justifica el hecho de que la red espacial que podría explicar el especializado y dependiente asentamiento minero-metalúrgico de *Cabezo Juré* (dentro de la denominada *periferia minera occidental*: Nocete 2001), sería el entorno del Valle del Guadalquivir, dada tanto la coincidencia en las asignaciones isotópicas de Pb (Sáez *et al.* 2004) de algunos productos metálicos como la presencia y procedencia desde el Valle de elementos singulares como las hojas de caliza oolítica silicificada (Nocete *et al.* 2005b) y, sobre todo, porque en el Valle del Guadalquivir existe un jerarquizado almacén intersocial con la necesidad y capacidad de generar los excedentes y demanda que pudieron sustentar tan especializada actividad minerometalúrgica (Nocete 2001), donde *Valencina de la Concepción* parecía erigirse como la piedra angular de este sistema suroccidental.

II. EL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

El yacimiento arqueológico de Valencina de la Concepción (Figura 1), se ubica tanto en el término municipal homónimo como en el aldeaño de Castilleja de Guzmán, en el aljarafe de la provincia de Sevilla.

Valencina de La Concepción ha sido objeto de estudio a lo largo de un dilatado período temporal y, aunque bajo el prisma de diferentes corrientes y posicionamientos teóricos, casi todos han coincidido en la gran importancia de este conjunto ar-

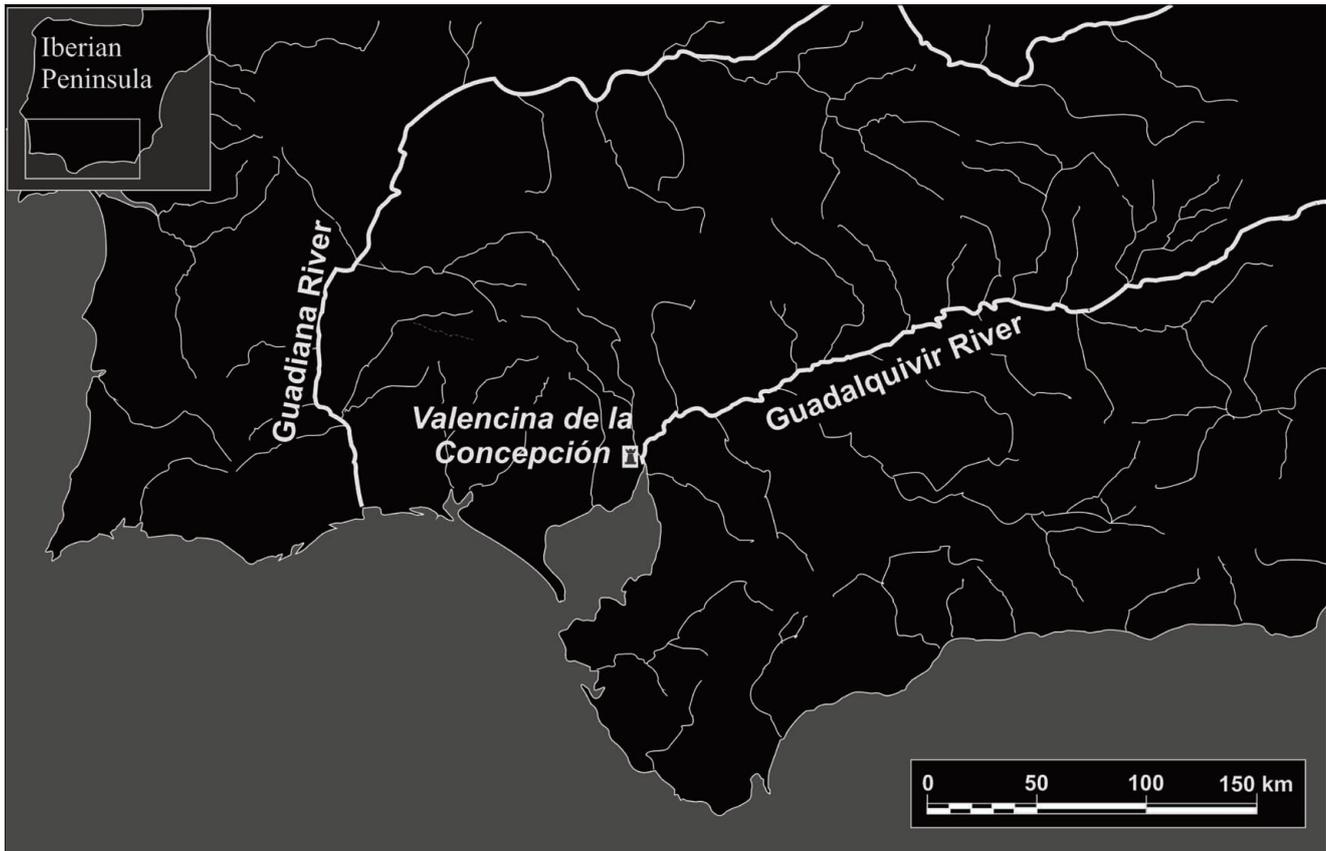


Fig. 1. Localización del sitio arqueológico de Valencina de la Concepción (Sevilla). Línea de costa en el III Milenio A.N.E.

queológico. En este sentido, son constantes las referencias a *Valencina* como un enorme centro de poder que articula, organiza y gestiona un extenso territorio (Murillo 2004: 17; Nocete 2001: 46; Pajuelo y López 2001: 244).

Sin embargo, a pesar de la importancia admitida para *Valencina de la Concepción*, el panorama de su investigación se ha caracterizado tanto por una documentación de carácter puntual como por la ausencia casi total de proyectos de investigación sistemáticos y, por tanto, por la ausencia generalizada de registros extensivos donde, la mayoría de las veces, sus noticias se reducían a *valoraciones arqueográficas* provisionales que impedían la articulación de una explicación de conjunto, aunque algunos tímidos intentos sobre propuestas de carácter general sobre la dimensión, población o función de *Valencina* han comenzado a realizarse.

Casi todas estas propuestas reconocen varias áreas o ámbitos para el asentamiento, lo que podría simplificarse en la existencia de una zona de poblado

y otra de necrópolis, aunque también se esboza la definición de zonas intermedias o productivas (Arteaga y Cruz-Auñón 1999, Cruz-Auñón y Arteaga 1999; Vargas 2003; etc.). El reconocimiento de la existencia de áreas diferenciadas funcionalmente en el interior del poblado, manifiesta un nítido punto de inflexión gracias a las intervenciones arqueológicas realizadas con la colaboración y asesoramiento de nuestro Grupo, entre 2002 y 2006, en dos zonas (Matarrubilla y Nueva Valencina) anexadas espacial y temporalmente y que presentaban una superficie global próxima a las 9 hectáreas. Estas zonas acabaran definiendo, por la cualidad e intensidad de sus indicadores arqueológicos, el sector que hemos denominado *barrio metalúrgico* (Figura 2). Aunque ya estamos lejos de la sorpresa que generaba la ausencia de *objetos* de metal y restos de actividad metalúrgica (Fernández y Oliva 1985: 83), no podemos negar que las evidencias de producción metalúrgica eran bastante escasas y, en algunos casos, bastante confusas. Sin embargo, estos nuevos registros modifican sustancialmente la interpretación sobre la práctica de la actividad metalúrgica en la *Valencina de la Concepción* del III Milenio A.N.E., mediante la



Fig. 4. Registros arqueológicos de la actividad metalúrgica en el *barrio metalúrgico* de Valencina de la Concepción: estructuras de combustión termoalteradas, crisoles, toberas, minerales, percutores, etc.

espacial mediante fosos, nos permiten interpretar su diseño como el de un extenso barrio o distrito artesanal (Nocete *et al.* 2008).

III. PROTOCOLO DE ANÁLISIS Y FIJACIÓN CRONOLÓGICA

Mediante diversos convenios de colaboración, el Grupo MIDAS de la Universidad de Huelva, establece un protocolo de análisis extensivo y total al objeto de caracterizar tan singular registro y contexto. Un protocolo analítico que ha contemplado, entre otros aspectos, el análisis microespacial, las dataciones radiocarbónicas, el análisis mineralógico e isotópico a minerales, escorias y productos, el análisis ceramológico y un conjunto de análisis metalográficos a sus productos de metal, que son los que aquí se presentan.

Tan sólo referir, ya que estos análisis han sido detallados en otro trabajo (Nocete *et al.* 2008) que se han podido evaluar aspectos como la distribución espacial de la producción, las fuentes de suministro para materia prima empleada, los procesos de reducción mecánica de minerales sistematizado, las estructuras de combustión

específicas, el empleo de combustible vegetal de gran poder calorífico, los rangos y niveles de temperatura soportados, los procesos de refinado de cobre, el empleo estandarizado de crisoles, la estimación del volumen productivo, etc.

La fijación cronológica, obtenida mediante ocho dataciones radiocarbónicas, de las cuales seis procedían de los contextos de actividad metalúrgica del sector, y específicamente de muestras tomadas del interior de sus escorias, establece una horquilla temporal entre los inicios de la actividad metalúrgica de los cuatro sectores entorno al, calibrado, 2750 A.N.E. y el 2500 A.N.E. principalmente (Tabla 1).

IV. MATERIALES SELECCIONADOS Y METODOLOGÍA ANALÍTICA

Los contextos arqueológicos del *barrio metalúrgico* de Valencina de la Concepción (contextos de Matarrubilla y Nueva Valencina) han proporcionado un número próximo al medio centenar de productos metálicos de los cuales, trece, adscribibles a un uso o ámbito doméstico (hojas de cuchillo, escoplos, punzones, sierras, etc.) han sido

Muestra	Sector	Número y contexto	Referencia Laboratorio	Age BP	Calendar Age BP	Probabilidad 68% Cal BP	Calendar Age Cal BC	Sistema	Carbón (especie)	Contexto metalúrgico
1	I	MR2 Nivel base del foso	Ua 19475	4150±50	4697±94	4602-4791	2747±94	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Primer vertedero metalúrgico
2	I	MR2 Nivel de cubierta del foso	Ua 19474	4045±50	4554±93	4461-4647	2604±93	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Último vertedero metalúrgico
3	IV	NV99 Horno	Ua 24557	4135±45	4686±99	4587-4785	2736±99	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno
4	V	IES14 Horno	Ua 32885	4120±40	4680±100	4579-4780	2730±100	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno
5	III	NV182 Horno	Ua 32042	4104±40	4668±109	4558-4777	2718±109	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno
6	II	NV18 Horno	Ua 22813	4050±45	4552±87	4464-4639	2602±87	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno
7	IV	NV540 Horno	Ua 24558	3995±75	4475±117	4358-4592	2525±117	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno
8	IV	NV104 Horno	Ua 32043	3620±55	3954±82	3872-4036	2004±82	AMS	<i>Quercus Ilex</i>	Interior de escoria de horno

Tabla 1.: Dataciones radiocarbónicas calibradas del barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción (Cal Pal 2005 (www.calpal-online.de) B. Weninger, O. Jörisch y U. Danzeglocke. Traducción de Nocete *et al.* 2008: 720 .

seleccionados para el estudio de la definición de los procesos tecnológicos aplicados en la fabricación de los productos de metal (Figura 5).

Este número de muestras se suma a otro tanto número de análisis metalográficos que hemos realizado a materiales de otros contextos de Valencina (Rodríguez Bayona 2008), incluidos el funerario y que en todos los casos, se tratan de muestras contextualizadas, crono-referenciadas y



Fig. 5. Selección de productos metálicos del barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción.

procedentes de excavaciones controladas.

Para la definición de los procesos de manufacturación metálica, se ha implementado la aplicación de una metodología arqueométrica basada en el análisis textural y composicional, en el estudio microestructural y en la evaluación de las propiedades mecánicas de los productos (Rodríguez Bayona 2008). Para la realización de estos análisis se han utilizado tres técnicas complementarias: la microscopía electrónica de barrido (MEB), la metalografía convencional con microscopio metalográfico y las mediciones de microdurezas mediante microdurómetro (Aballe *et al.* 1996; Bayona *et al.* 2003a y b; Calvo 1972; Rovira *et al.* 2001; Scott 1991).

Los análisis, semicuantitativos, han sido corregidos mediante modelo ZAF, y se han utilizado criterios cristalquímicos para la asignación de los análisis químicos a fases minerales o a compuestos. Para su observación metalográfica, las muestras fueron atacadas por inmersión con cloruro férrico (FeCl_3) y ácido clorhídrico en solución

MUESTRA	Cu	As	Cl	FASES E INCLUSIONES
Nueva Valencina				
NVAL-9	98,56	1,44		Cuprita, arseniatos tipo Mixita-Rooseveltita-Tetrarooseveltita, silicatos escoriáceos (con Al, Ca, K, Mg y Fe) y zonas oxidadas con Cu, As, Sb y Bi
NVAL-10	98,1	1,9		Cuprita, tenorita e inclusiones formadas por As, Bi y Sb
NVAL-11	94,94	5,06		Cuprita y de sulfosales de S, Cu, Pb y As
NVAL-12	96,16	3,84		Óxido cuproso y óxidos de As
NVAL-13	9,56	0,44		Óxido cuproso y casiterita
NVAL-14	98,33	1,67		Óxido cuproso y Ag metálica
NVAL-15	96,4	3,6		Óxido cuproso
NVAL-16	98,12	1,88		Cuprita, arseniatos de Cu e inclusiones de Ag metálica
Matarrubilla				
VAL-1	96,53	3,47		Sulfatos de Cu, concentraciones arsenicales y Bi metálico
VAL-2	98,62	1,38		Óxido cuproso, impurezas de Si y segregados arsenicales
VAL-3	97,6	2,4		Casiterita, inclusiones sin identificar de Cu, As, Bi e impurezas de S y Sn
VAL-4	100	0		Cuprita, Bi metálico e impurezas de Fe, Sb y Sn
VAL-5	91,77	0	8,23	Alteración general a cloruro (Bobkingita) y aleados arsenicales no alterados
MEDIA As			DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
2,1			1,55	

Tabla 2. Análisis composicionales con microsonda del MEB (% en peso).

Nº REG.	TIPO	MEDIA As	MEDIA HV	TÉCN. PRODUCCIÓN
Nueva Valencina				
NVAL-9	Cuchillo	1,44	189	F+FF+R+FF
NVAL-10	Cuchillo	1,9	184,7	F+FF+R+FF
NVAL-11	Escoplo	5,06	245,8	F+FF+R+FF
NVAL-12	Escoplo	3,84	125,1	F+FF+R
NVAL-13	Punzón	0,44	68,8	F+FF+R
NVAL-14	Punzón	1,67	60,7	F+FF+R
NVAL-15	Escoplo	3,6	100,3	F+FF+R+FF
NVAL-16	Punzón	1,88	131,1	F+FF
Matarrubilla				
VAL-1	Cuchillo	3,47	112,7	F+FF+R
VAL-2	Indeterminado	1,38	118	F+FF+R
VAL-3	Sierra	2,4	183,6	F+FF+R+FF
VAL-4	Aguja / Anzuelo	0	87,6	F+FF+R
VAL-5	Indeterminado	0	19,46	--

Tabla 3. Variables correlacionables en las muestras del *barrio metalúrgico*. Formato, contenido en As (% en peso), microdureza y técnicas de producción.

acuosa (HCl) y/o persulfato amónico y amoníaco en solución acuosa $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$.

Los valores de dureza H_V (*Hardness Vickers*) corresponden al cálculo de la media aritmética ponderada del total de mediciones de cada muestra, con inclusión de sus medidas de dispersión tanto la Desviación Estándar como el Coeficiente de Variación (Wang y Ottaway 2004; Shennan 1992).

V. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS METALOGRAFICOS

Los resultados analíticos, a nivel composicional, definen genéricamente productos que presentan una aleación binaria de cobre arsenicado, con una tasa media de arsénico que se sitúa entorno al 2.1%, y con una desviación estándar de 1.55, aunque en dos muestras se ha obtenido un porcentaje de As por debajo de los límites de detección del equipo (Tabla 2).

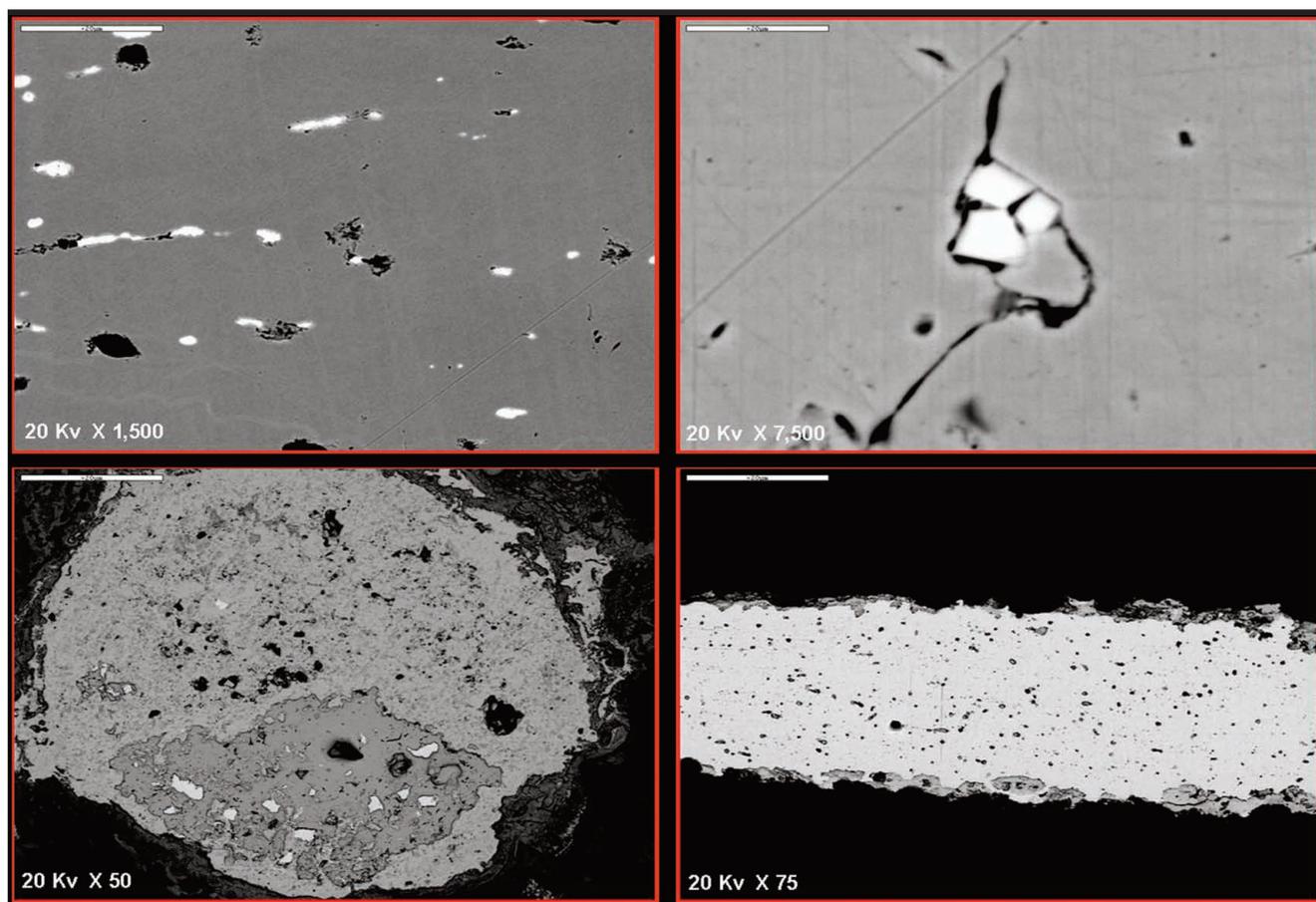


Fig. 6. Imágenes de microscopio electrónico de barrido (electrones retrodispersados) de muestras de productos metálicos del *barrio metalúrgico*: NVAL-11, NVAL-13, VAL-5 y NVAL-9.

Respecto a la caracterización e identificación de las inclusiones y fases que componen las aleaciones metálicas analizadas, se han considerado significativas la presencia de óxido de cobre, tanto cuprita (Cu_2O) como tenorita (CuO), cuya detección se ha realizado tanto por medios analíticos como metalográficos. Se ha precisado la asociación de elementos tales que As, Sb y Bi, asimilados a compuestos así como la presencia de impurezas de Pb, Sn o Sb (Tabla 2) (Figura 6).

El estudio microestructural, por su parte, ha detectado tres procesos de manufacturación distintos —posteriores a la fundición y colada metalúrgica— aplicados en la elaboración de los productos metálicos (Tabla 3).

Un primer grupo lo componen aquellos productos que, tras su colada, se manufacturan, ex-

clusivamente, mediante la aplicación de tratamientos mecánicos (F+FF)¹. Esta técnica simple de manufacturación fue aplicada al 8% de las muestras analizadas (sólo un producto) (Tabla 3) (Figura 7.A).

Un segundo grupo (92 % del muestreo) lo forman aquellos productos sometidos a la combinación de tratamientos térmicos y mecánicos que, según la complejidad de su procesado, conformarían un grupo de productos finalizados con recocido tras forja en frío previa (F+FF+R) representados por un 50% de los mismos (Tabla 3) (Figura 7. B) y un segundo grupo, 42%, donde la sucesión de tratamientos implicaba la forja, el recocido y la forja final (F+FF+R+FF) (Tabla 3) (Figura 7. C).

En cuanto a la serie de mediciones con microdurómetro realizadas (Tabla 4) con objeto de

¹ F= Fundición; FF= Forja en frío; R= Recocido.

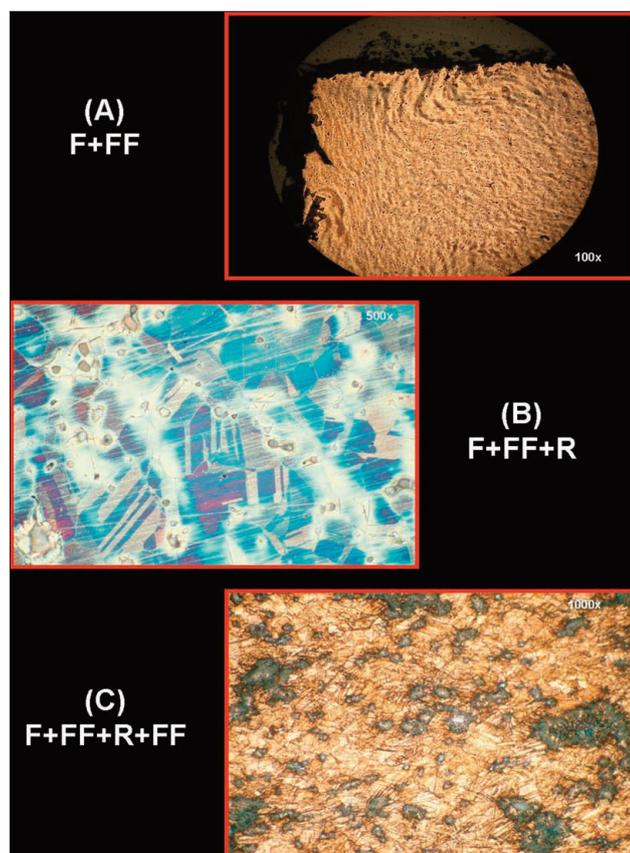


Fig. 7. Imágenes de microscopio óptico de muestras de productos metálicos del *barrio metalúrgico*. Microestructuras y técnicas de manufacturación aplicadas (F= Fundición. FF= Forja en frío. R= Recocido): NVAL-16, NVAL-12 y NVAL-11).

establecer las cualidades mecánicas de resistencia a la penetración, el tratamiento de los datos ha po-

dido determinar la tendencia mayoritaria a una progresión de la microdureza en relación a varios factores. En lo que respecta a la correlación HV - Técnica de Producción, se ha podido determinar la tendencia mayoritaria a una progresión aritmética de la microdureza en relación a su procesado final, donde los valores de microdureza menos elevados de la serie lo muestran siempre aquellos productos finalizados con tratamiento térmico (Tabla 3). En la correlación HV - As, aunque no podemos inferir una relación exclusiva, su correlación positiva (0.62), evidencia que, por término general, a contenidos altos de As corresponden microdurezas también elevadas (Tabla 3).

VI. CONCLUSIONES Y VALORACIONES FINALES

La interpretación de estos resultados, junto con la definición de sus contextos arqueológicos, ha permitido, en primer lugar, la evaluación y caracterización de la producción de metal en el *Barrio metalúrgico* de Valencina de la Concepción. Sus resultados, a nivel tecnológico, se inscriben en un marco general de investigación de carácter multi e interdisciplinar (Rodríguez Bayona 2008) donde se evalúa, entre otros aspectos, los modelos de asociación metalúrgica y la definición de los patrones de producción en el III Milenio A.N.E.

Nº REG.	TIPO	MEDICIONES	HV MÍN.	HV MÁX.	MEDIA	DESV. ST.	COEF. VAR.
Nueva Valencina							
NVAL-9	Cuchillo	7	124,5	331,5	189	71,9	38
NVAL-10	Cuchillo	16	122,3	280,9	184,7	40,9	22,1
NVAL-11	Escoplo	7	183,9	334	245,8	57,3	23,3
NVAL-12	Escoplo	5	111,4	154,45	125,1	17,1	13,7
NVAL-13	Punzón	6	63,1	78,6	68,8	5,4	7,8
NVAL-14	Punzón	5	56	84,5	60,7	29,7	48,9
NVAL-15	Escoplo	5	85,7	115,4	100,3	11,9	11,9
NVAL-16	Punzón	5	85,2	158,8	131,1	31,3	23,8
Matarrubilla							
VAL-1	Cuchillo	9	83,3	162,6	112,7	23,5	20,8
VAL-2	Indeterminado	6	107,9	131	118	8,8	7,5
VAL-3	Sierra	8	151,7	221,6	183,6	24,5	13,3
VAL-4	Aguja / Anzuelo	5	64,3	101,1	87,6	14,4	16,5
VAL-5	Indeterminado	1			19,46		

Tabla 4. Mediciones de microdureza (*Hardness Vickers*) realizadas a las muestras procedentes del *barrio metalúrgico*.

En este sentido, a nivel metalográfico, y aunque durante el III Milenio se ha podido detectar el empleo de todas las técnicas de trabajo del metal (Rovira 2002 y 2004), desde la más simple hasta la más compleja, los procedimientos de taller que parecían predominar eran los de forja en frío, con un aproximado 70% de la producción analizada por otros investigadores y donde también destacaba el escaso empleo de las técnicas conducentes a la recristalización del metal, llegando a ser considerado todo ello como una *peculiaridad hispana*. Además, la fórmula más completa (F+FF+R+FF) se consideraba la más eficiente aplicación de las *técnicas de taller* y su empleo se suponía que no comenzaba a predominar hasta el denominado *Bronce Medio*, siendo su implantación muy poco común para cronologías anteriores (Rovira y Gómez Ramos 2003).

Los resultados aquí referidos, confirmarían la modificación de esta hipótesis tecnológica que concede a los tratamientos exclusivos de forja en frío un papel predominante entre las *recetas de taller* del metalista prehistórico, del III Milenio A.N.E. al menos. Los datos disponibles de *Valencina de la Concepción* aquí presentados, sugieren que los tratamientos de manufacturación complejos eran aplicados recurrentemente en el SO peninsular durante el III Milenio A.N.E. y, además, en unos rangos que invierten los valores porcentuales hasta entonces manejados.

El análisis, valoración e interpretación de estos resultados y su inserción en los programas de investigación sistemáticos ejecutados por parte del Grupo *MIDAS*, está posibilitando contar con los primeros referentes para el suroeste peninsular y, además, está definiendo un/os modelo/os distinto/s de desarrollo de la actividad metalúrgica para el III Milenio A.N.E. (Nocete 2004; Nocete *et al.* 2005a, b, c y 2008). Este modelo de interpretación, basado inicialmente en las evidencias proporcionadas por *Cabezo Juré* (Nocete 2004), ha sido contrastado y ahora también constatado por el *Barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción*.

Ello no significa la negación de un modelo,

importante a nivel cuantitativo, donde la metalurgia peninsular era definida por poseer un carácter más simple y doméstico (Rovira 2002; Hunt 2003). Ni tampoco significa que se estén definiendo modelos contrapuestos e incompatibles, sino una realidad muy compleja a la que parecía faltarle una *pieza del puzzle* (el Suroeste) desde el que poder construir una exégesis histórica de mayor alcance y trascendencia, ahora posible debido al sistemático desarrollo de investigaciones de contextos arqueológicos vinculados a la metalurgia y secuenciados cronográficamente (Nocete 2004; Rodríguez Bayona 2008).

En este debate, sin lugar a dudas, los métodos analíticos aplicados a la investigación arqueometalúrgica contribuyen a generar un más completo conocimiento del producto, de la tecnología implicada en su proceso productivo y de la sociedad que la aplica. Para ello, estos resultados deberán ser integrados en investigaciones que nos ayuden a entender y explicar procesos y fenómenos de carácter más general, como los que proponemos mediante la exploración del proceso de relaciones centro/periferia de la sociedad clasista inicial en su articulación de la organización técnica y social de la producción metalurgia del cobre durante el Tercer Milenio anterior a nuestra era (Nocete 2004).

Quienes nos dedicamos al estudio de las sociedades pretéritas y sus prácticas, no deberíamos olvidar que el término *Arqueometría* se inicia con el prefijo *arqueo...* con lo que nuestro objetivo final, que no objeto, debería ser no sólo qué hace una sociedad, sino cómo y por qué lo hace.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer especialmente a D. Gonzalo Queipo de Llano y D. Daniel Lara Montero por parte de *Factum Novem S.L.* y a D. Juan Manuel Vargas Jiménez, Arqueólogo Municipal del Excmo. Ayuntamiento de Valencina de la Concepción, la constante y eficiente colaboración prestada así como la cesión de los materiales y registros arqueológicos para su estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ABALLE, M., LÓPEZ, J., BADÍA, J.M. y ADEVA, P. (coord.) 1996: *Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis por Rayos X*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- ARTEAGA, O. y CRUZ-AUÑÓN, R. 1999: "El sector funerario de «Los Cabezuelos» (Valencina de la Concepción, Sevilla). Resultados preliminares de una excavación de urgencia". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1995, III: 589-599.
- BAYONA, M.R.; ROVIRA, S.; NOCETE, F.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M. y ÁLEX, E. 2003a: "The prehistoric metallurgy of Cabezo Juré (Alosno, Huelva, Spain): The metal objects production". *International Conference Archaeometallurgy in Europe*, Vol. II, Associazione Italiana di Metallurgia, Milán: 175-184.
- BAYONA, M.R.; NOCETE, F.; LIZCANO, R.; ÁLEX, E.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M. y ROVIRA, S. 2003b: "Estudio arqueometalúrgico de un asentamiento del Tercer Milenio A.N.E.: La producción de los objetos de metal de La Junta (Puebla de Guzmán, Huelva)". *Actas del V Congreso Ibérico de Arqueometría*. Universidad de Cádiz: 63-64.
- CALVO, F.A. 1972: *Metalografía Práctica*. Editorial Alambra, S.A. Madrid.
- CRUZ-AUÑÓN, R. y ARTEAGA, O. 1999: "Acerca de un campo de silos y un foso de cierre prehistóricos ubicados en «La Estacada Larga» (Valencina de la Concepción, Sevilla). Excavación de Urgencia de 1995". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1995, III: 600-607.
- FERNÁNDEZ, F. y OLIVA, D. 1985: "Excavaciones en el yacimiento calcolítico de Valencina de la Concepción (Sevilla). El Corte C («La Perrera»)". *Noticiero Arqueológico Hispano* 25. Madrid: 7-131.
- GARCÍA SANJUÁN, L. 1999: *Los orígenes de la estratificación social. Patronos de desigualdad en la Edad del Bronce del suroeste de la Península Ibérica (Sierra Morena Occidental c. 1700-1100 a.n.e. / 2100-1300 A.N.E.)*. BAR International Series, 823, Oxford.
- HUNT ORTIZ, M. A. 2003: *Prehistoric mining and metallurgy in south west Iberian Peninsula*. BAR International Series, 1188, Oxford.
- MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. 1989: *Una revisión crítica de la Prehistoria Española. La Edad del Bronce como paradigma*. Siglo XXI. Madrid.
- MURILLO, T. 2004: *Historia e historiografía de un yacimiento de la Edad del Cobre: Valencina de la Concepción, Sevilla*. Departamento de Prehistoria y Arqueología, U.N.E.D. (e.p.).
- NOCETE, F. 2001: *Tercer Milenio antes de Nuestra Era. Relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*. Bellaterra. Barcelona.
- NOCETE, F. (Coord.) 2004: *ODIEL. Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología nº 19. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla.
- NOCETE, F. y LINARES, J.A. 1999: *Las primeras sociedades mineras en Huelva. Alosno. Historia de la Provincia de Huelva*. Huelva, Editorial Mediterráneo: 49-64.
- NOCETE, F.; ORIHUELA, A.; PEÑA, M. y PERAMO, A. 1993: "Proyecto Odiel. Un año después (1991-1992). 3000-1000 a.n.e. Formaciones Sociales en Transición: Un modelo de análisis histórico para la contrastación del proceso de jerarquización social". En J.M. Campos y F. Nocete (coord.): *Investigaciones arqueológicas en Andalucía, 1985-1992, Proyectos*. Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Dirección General de Bienes Culturales, Huelva: 383-400.
- NOCETE, F.; LIZCANO, R.; ORIHUELA, A.; LINARES, J.A.; OTERO, R.; ESCALERA, P.; PARRALES, P. y ROMERO, J.C. 1999a: "I campaña de excavación arqueológica de Cabezo Juré (Alosno, Huelva)". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1994, II: 86-92.
- NOCETE, F.; ESCALERA, P.; LINARES, J.A.; LIZCANO, R.; ORIHUELA, A.; OTERO, R.; ROMERO, J.C. y SÁEZ, R. 1999b: "Estudio del material arqueológico de la primera campaña de excavación de C. Juré (Alosno, Huelva). Proyecto Odiel". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1994, II: 93-104.
- NOCETE, F.; LIZCANO, R.; LINARES, J.A.; ESCALERA, P.; ORIHUELA, A.; PÉREZ, J.M.; RODRÍGUEZ, M.; GARRIDO, N.; AQUINO, N.; ALCÁZAR, J.M. y ÁLEX, E. 2001: "Segunda Campaña de excavación arqueológica sistemática en el yacimiento de Cabezo Juré (Alosno, Huelva)". *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1997, II: 107-111.
- NOCETE, F.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; LIZCANO, R.; BAYONA, M.R.; ÁLEX, E. e INÁCIO, N. 2005a: "Nouvelles perspectives pour les analyses historiques de la première exploitation minière et de la première métallurgie dans la Péninsule Ibérique: La production du cuivre à Cabezo Juré (2900-2200 BC)". *CU+* 4: 24-28.
- NOCETE, F.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; CRUZ-AUÑÓN, R.; CABRERO, R.; ÁLEX, E. y BAYONA, M.R. 2005b: "Circulation of silicified oolitic limestone blades in South-Iberia (Spain and Portugal) during the third millennium B.C.: an expression of a core/periphery framework". *Journal of Anthropological Archaeology* 24: 62-81.
- NOCETE, F.; ÁLEX, E.; NIETO, J.M.; SÁEZ, R. y BAYONA, M.R. 2005c: "An archaeological approach to regional environmental pollution in the south-western Iberian Peninsula related to Third millennium BC mining and metallurgy". *Journal of Archaeological Science* 32: 1566-1576.
- NOCETE, F.; QUEIPO, G.; SÁEZ, R.; NIETO, J.M.; INÁCIO, N.; BAYONA, M.R.; PERAMO, A.; VARGAS, J.M.; CRUZ, R.; GIL-

- IBARBUCGI, J.I. y SANTOS, J.F. 2008: "The smelting quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the specialised copper industry in a political centre of the Guadalquivir Valley during the Third millennium BC (2750-2500 BC)". *Journal of Archaeological Science* 35: 717-732.
- ORIHUELA, A. 1999: *Historia de la Prehistoria: el suroeste de la Península Ibérica*. Diputación Provincial de Huelva. Huelva.
- PAJUELO, A. y LÓPEZ, P.M. 2001: "Ideología y control político durante el III Milenio a.n.e. en el Bajo Guadalquivir". *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social* IV: 229-255.
- RODRÍGUEZ BAYONA, M. 2008: *La investigación de la actividad metalúrgica durante el III Milenio A.N.E. en el suroeste de la Península Ibérica. La Arqueometalurgia y la aplicación de análisis metalográficos y composicionales en el estudio de la producción de objetos de metal*. British Archaeological Reports (BAR), International Series 1769. Oxford.
- ROVIRA, S. 2002: "Metallurgy and society in Prehistoric Spain". En B.S. Ottaway y E.C. Wager (eds.): *Metals and Society*. BAR International Series 1061. Oxford: 5-20.
- 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, Fundación Ortega y Gasset y Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid.
- ROVIRA, S.; NOCETE, F.; SÁEZ, R. y NIETO, J.M. 2001: "Aspectos preliminares de la metalurgia en el sitio prehistórico de Cabezo Juré (Alosno, Huelva). La producción de objetos de metal". *IV Congreso Nacional de Arqueometría*: 182-191.
- SÁEZ, R.; PASCUAL, E.; TOSCANO, M. y ALMODÓVAR, G.R. 1999: "The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits". *Mineralium Deposita* 34: 549-570.
- SÁEZ, R.; NOCETE, F. y CÁMALICH, M.D. 2004: "La captación de materias primas para la metalurgia de Cabezo Juré". En F. Nocete (Coord.): *ODIEL. Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología nº 19. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla: 265-271.
- SCOTT, D.A. 1991: *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*. The J. Paul Getty Trust. Singapore.
- SHENNAN, S. 1992: *Arqueología cuantitativa*. Editorial Crítica, Barcelona.
- VARGAS JIMÉNEZ, J.M. 2003: "Elementos para la definición territorial del yacimiento prehistórico de Valencina de la Concepción (Sevilla)". *Spal* 12: 125-144.
- VICENT, J.M. 1982: "Las tendencias metodológicas en Prehistoria". *Trabajos de Prehistoria* 39: 9-53.
- WANG, Q. y OTTAWAY, B.S. 2004: *Casting experiments and microstructure of archaeological relevant bronzes*. BAR International Series, 1331, Oxford.



SESIÓN PROSPECCION GEOFÍSICA Y TELEDETECCIÓN

DESCRIPCIÓN GEOFÍSICA DE UN DERRUMBE. PROSPECCIÓN GEORADAR Y CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA EN EL POBLADO FORTIFICADO DE MUNOANDI (AZKOITIA-AZPEITIA, GIPUZKOA)

GEOPHYSICAL DESCRIPTION OF MOUNDS GENERATED BY COLLAPSED STRUCTURES. GPR PROSPECTION AND TOPOGRAPHIC CORRECTION IN THE FORTIFIED SETTLEMENT OF MUNOANDI (AZKOITIA-AZPEITIA, GIPUZKOA)

Eñebine Garcia Garcia (1) / Roger Sala Bartroli (1) / Sonia San Jose Santamarta (2)

(1) SOTProspecció Arqueològica

(2) Dpto. de Arqueología Prehistórica. Sociedad de Ciencias Aranzadi

RESUMEN: El yacimiento de Munoaundi está situado en los municipios de Azkoitia-Azpeitia (Gipuzkoa, Euskal Herria), dominando una amplia zona del valle del Urola. Se trata de un poblado fortificado de la II Edad del Hierro, localizado en altura y con un gran control estratégico de la zona circundante.

Dentro del objetivo arqueológico de analizar las estructuras defensivas que rodean el poblado se ha programado el estudio de dos montículos situados sobre la línea de muralla en la zona oeste del yacimiento, debido a que podría tratarse de dos torres defensivas situadas a ambos lados de la puerta de acceso al recinto.

En este contexto se planteó un estudio con georadar para esclarecer si bajo los montículos formados por materiales de derrumbe se distinguen estructuras. Durante el proceso de los datos se realizó una corrección topográfica para corregir por una parte la cota relativa de los perfiles y por otra la inclinación de la antena con respecto de la vertical (tilt). Finalmente se aplicó la técnica de visualización time-slicing para generar cortes horizontales.

El comienzo de las labores de excavación permite una primera comparación de los resultados obtenidos mediante la prospección.

SUMMARY: The archaeological site of Munoaundi is located in the municipalities of Azkoitia-Azpeitia (Gipuzkoa, Euskal Herria), overlooking a wide area of the Urola valley. It is a fortified settlement from the Iron Age II, located in height and with a great strategic control of the surrounding area.

Within the objective of analyzing the archaeological defensive structures that surround the town, the study of two mounds along the line of wall on the west side of the site was scheduled, as it could be two collapsed defensive towers on either side of the door access to the site.

In this context, a study was made to clarify whether GPR could detect structures underneath the collapsed material forming the mounds. During the process of data, a topographic correction was performed to correct relative level of data and tilt of the antenna with respect to the vertical. After data process, the time-slicing visualization technique was applied to generate horizontal cuts.

The beginning of excavation allowed a first comparison between excavated structures and results obtained from geophysical survey.

PALABRAS CLAVE: Prospección Geofísica, georadar, corrección topográfica, poblado fortificado, Edad del Hierro.

KEY WORDS: Geophysical Prospecting, GPR, topographic correction, fortified settlement, Iron Age.

I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Munoaundi se sitúa en el interior de Gipuzkoa (Euskal Herria), dentro de los términos municipales de Azkoitia-Azpeitia y dominando parte del valle del Urola. Se trata de un poblado fortificado de la Edad del Hierro, localizado en altura y con un gran control estratégico de la zona circundante.

El poblado tiene una zona aterrazada de unos 10-15 m de anchura contenida por una muralla de piedra que rodea todo el monte excepto en su lado este, donde la fuerte pendiente del terreno hace innecesaria la construcción de una estructura de piedra para defenderse. Rodeando a la muralla, y paralela a ella, se localiza una segunda terraza de dimensiones y entidad similares a la superior, de la que de momento no se conoce su función (Peñalver; San Jose 2003).

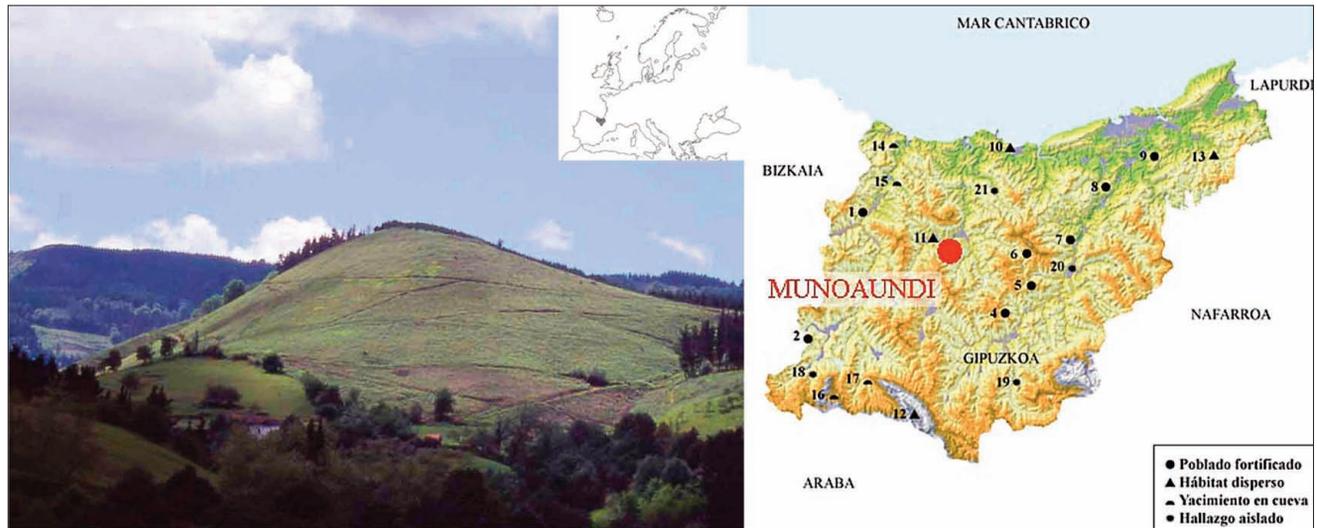


Fig. 1. Plano de localización del poblado de Munoaundi (Azkoitia-Azpeitia) y vista general del monte Munoaundi.

Este hábitat fue descubierto en 1995 dentro de un programa de prospección sistemática orientada a localizar yacimientos del Bronce Final-Edad del Hierro en el territorio de Gipuzkoa y en los años posteriores se realizaron algunos trabajos puntuales de cara a conocer la secuencia estratigráfica del yacimiento y la tipología de la muralla. Desde el año 2006, sin embargo, se inició un proyecto de investigación y puesta en valor del yacimiento que pretende realizar una excavación arqueológica en extensión con dos objetivos principales: por un lado, conocer los modos de vida y las estructuras de vivienda de los pobladores de este sitio y, por otro, estudiar los sistemas defensivos del recinto fortificado y en concreto uno de los posibles accesos al mismo. Paralelo a ello, se llevan trabajos de difusión de este patrimonio arqueológico, principalmente a nivel comarcal, teniendo como objetivo último la musealización de los resultados de la intervención arqueológica, consolidando y reconstruyendo los posibles restos de murallas y viviendas que se puedan recuperar, para de este modo hacer visitable el yacimiento. Este proyecto, cuya fase a medio plazo finaliza en el 2013, está dirigido por una de las firmantes de este trabajo, S. San Jose, del departamento de Arqueología Prehistórica de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, y financiado por la Diputación Foral de Gipuzkoa y los Ayuntamientos de Azkoitia y Azpeitia, bajo la coordinación de la Empresa para el Fomento y Desarrollo del Urola, Iraurgi Lantzen.

Fruto de los trabajos arqueológicos realiza-

dos hasta la fecha, se cuenta con materiales cerámicos, modelados y a torno, de recipientes de distintos tamaños y tipologías; material lítico, como alisadores/percutores y restos de un molino circular; elementos metálicos tanto en bronce (una fíbula de Torrecilla o una pesa troncocónica de comercio), como en hierro (enseres domésticos y armamento), etc. Asimismo, se han recuperado restos carpológicos indicadores de agricultura (cereales) y recolección (fundamentalmente bellotas). Contamos con una datación de 2.420 ± 80 BP (I-18368).

Por otra parte, se han documentado restos de posibles suelos de vivienda y la estructura de la muralla, compuesta por dos paramentos de piedras areniscas del terreno dispuestas a seco, reforzada en el interior por un relleno de tierra y cascajo. En la zona estudiada tiene una anchura de 2 m (San Jose 1999).

II. PROBLEMÁTICA Y METODOLOGÍA

En 2007 se inició la excavación arqueológica con el objetivo de estudiar las defensas y accesos al poblado. Para ello se abrió una superficie de 225 m² (hoy en día alcanzan casi los 425 m²) en la parte este del poblado, en una zona donde el relieve del terreno indicaba la posible existencia de una entrada al poblado. Se trata de dos montículos situados encima de la línea de muralla, con una pequeña vaguada entre ellos que, aunque cubier-

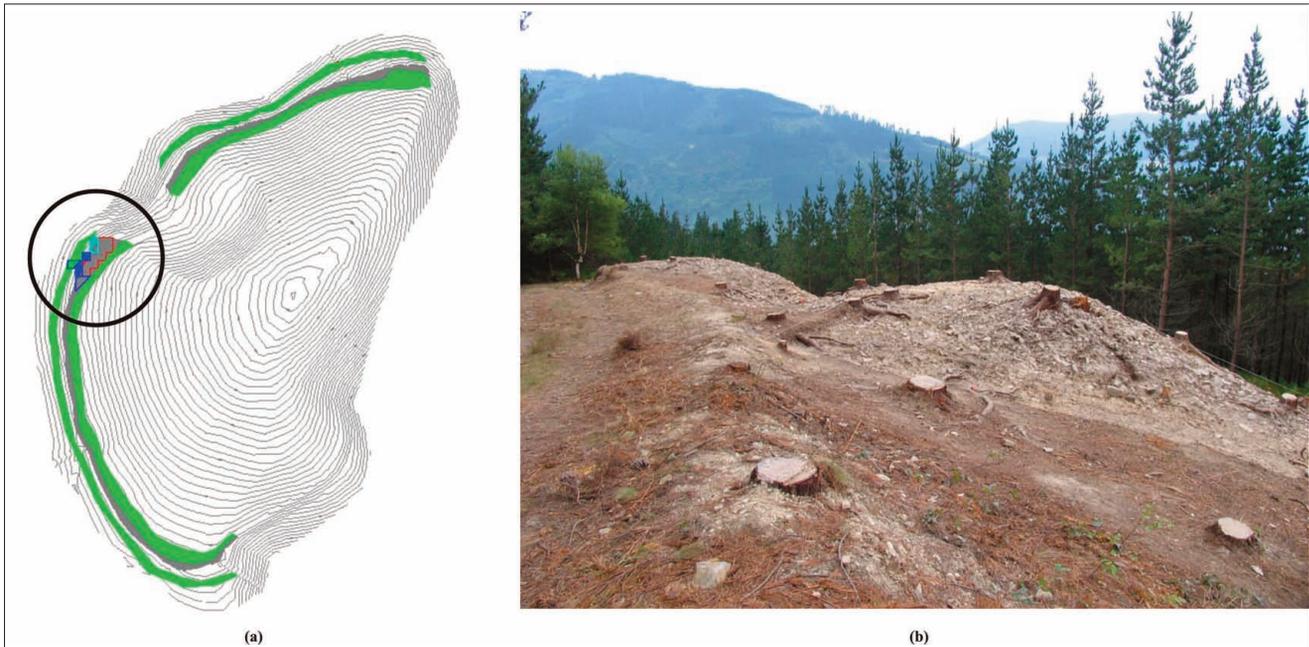


Fig. 2. (a) Plano topográfico del yacimiento con el área de excavación (en círculo). (b) Vista del derrumbe antes de realizar los trabajos con el georradar.

tos en su totalidad por una capa de tierra vegetal y una plantación de *pinus insignis*, siempre se habían considerado como “la puerta” de la muralla. Estos dos montículos están situados al sur de una hondonada muy pronunciada existente en la ladera, por lo que en este punto se interrumpe al menos la muralla y la terraza inferior¹, para volver a continuar más adelante, al norte de la misma. Este barranco, por otra parte, es muy apropiado de cara a la defensa del acceso al recinto.

En este contexto se plantea una prospección geofísica para intentar esclarecer la existencia o no de estructuras constructivas bajo los niveles de derrumbe. Para el planteamiento de dicha prospección se parte de dos hipótesis posibles (Figura 3):

1. Existen estructuras constructivas con una geometría bien definida sobre las cuales se espera encontrar el derrumbe de parte de las construcciones además de la capa vegetal.
2. Las estructuras están muy arrasadas y no quedan restos constructivos en posición.

Para distinguir entre estas posibles hipótesis era necesario un sistema de prospección que permitiera traspasar el nivel de derrumbe y aportar información sobre la disposición de los materiales que pudiera haber debajo, por lo que se optó por la utilización de un georadar (Sala *et al.* 2008).

El georadar es un sistema de prospección geofísica basado en la emisión hacia el subsuelo de pulsos electromagnéticos de frecuencia conocida, y el registro de los ecos que vuelven a la superficie. Estos ecos se generan en las superficies donde hay un cambio en las propiedades electromagnéticas del terreno, y son más intensos cuanto mayor sea la diferencia de composición entre los dos medios (contraste). En cada una de estas superficies de discontinuidad la onda se divide y, aunque se genere un eco que vuelve a la superficie, hay una parte de la energía que no se refleja y continúa viajando hacia el subsuelo. Así, por cada pulso emitido se recogen diversos ecos provenientes de cambios que están a diferente profundidad, lo que permite obtener información del subsuelo clasificada en función de la profundidad.

¹ En prácticamente todo el lado oeste del monte, la terraza superior se ha visto afectada por la construcción de una pista forestal, por lo que en este punto es difícil seguir su recorrido.

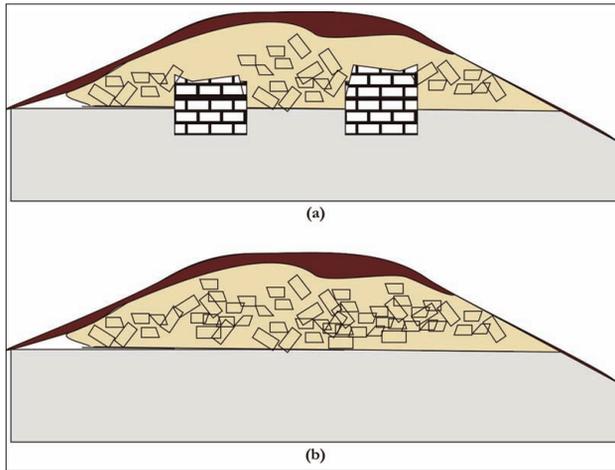


Fig. 3. Hipótesis de partida para el planteamiento de la prospección. (a) Existen estructuras constructivas con una geometría bien definida. (b) Las estructuras están muy arrasadas y no quedan restos constructivos en posición.

Repitiendo el proceso (emisión de un pulso electromagnético y registro de los ecos que llegan dentro de una ventana de tiempo) en cada punto de un perfil se obtiene un radargrama. El radargrama representa la cantidad de energía recibida en función del tiempo (eje vertical) y en función del avance del radar (eje horizontal), y se puede interpretar como una sección del subsuelo bajo el perfil, pero donde lo que está representado es la energía reflejada desde cada punto del subsuelo (Conyers *et al.* 1997)

Volviendo a la problemática de este caso, para poder detectar la existencia de estructuras era necesario poder visualizar los resultados en planta, ya que con los perfiles sueltos no se podría diferenciar si lo detectado era parte de alguna estructura geoméricamente definida o si bien se tra-

taba de materiales de derrumbe. Así se optó por un estudio de georadar en extensión, aplicando posteriormente la técnica de cortes de tiempo o *time-slicing* para la visualización y análisis de resultados (Goodman *et al.* 1995).

Para crear cortes de tiempo o representaciones en planta del área explorada, primero se crea un bloque tridimensional de toda la superficie cubierta en la prospección. Para llenar los espacios sin lectura (entre perfiles y entre las lecturas en el sentido de avance) se realiza una interpolación matemática de los datos (Figura 4).

Una vez creado este bloque de datos, se divide su dimensión vertical en cuantos cortes o secciones horizontales se consideren adecuados para visualizar los resultados. El resultado de esta operación es una secuencia de plantas horizontales donde se representan las diferencias de reflectividad de los objetos del subsuelo mediante la asignación de una carta de colores a los valores de respuesta de cada punto.

Para que esta técnica pueda aplicarse directamente, la superficie de exploración ha de ser llana ya que la topografía influye en los radargramas. Por una parte, si la superficie no es plana las estructuras que se encuentran en un nivel plano aparecen a diferente profundidad con respecto a la superficie actual. Por otra, la inclinación de la antena (tilt) provoca que el haz no se dirija a la vertical de cada punto deformando las imágenes. Para paliar estos efectos se realiza una corrección topográfica de los radargramas antes de interpolarlos, posicionando cada uno a la cota real que le

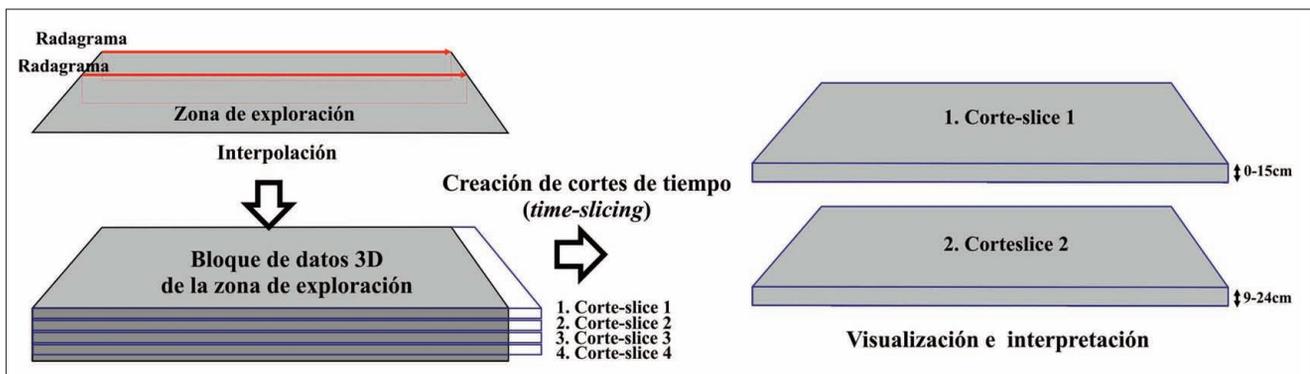


Fig. 4. Esquema de la metodología de generación de cortes de tiempo a partir de datos de georadar (radargramas).

corresponde (Goodman *et al.* 2006). En el estudio que se presenta el desnivel entre el punto más alto de los montículos y la base de los mismos era de aproximadamente 3 metros por lo que la corrección topográfica era imprescindible.

III. PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Para ejecutar la prospección se generaron dos cuadrículas que cubrían los montículos, con unas dimensiones de 10.4 m X 10 m para el montículo situado al sur (montículo 1) y de 10.8 m X 10 m para el montículo situado al norte (montículo 2) (Figura 5). Se empleó un sistema de georadar GSSI SIR-3000 equipado con una antena de 270 MHz, con una ventana de tiempo de 90 ns y una distancia entre perfiles de 40 cm. Debido a que la irregularidad de la superficie de adquisición no permitía el uso de una rueda de medida que gobernase las medidas dentro de cada perfil, los radargramas se adquirieron en modo tiempo. Esto significa que las medidas no se hacen en posiciones definidas sino que el sistema emite y recibe continuamente, y es el usuario quien realiza una marca cada metro de recorrido que se queda registrada. Así, en los momentos en los que se avance despacio, la densidad de lectura será muy alta y en momentos en los que se avance rápido, los puntos de medida estarán más espaciados.

Una vez adquiridos los radargramas se aplicó la siguiente secuencia de proceso para la obtención de resultados (Figura 6):

1. Resamplado de los radargramas para asignar un número de scans/m constante: Habiendo tomado los radargramas en modo tiempo, el número de medidas por metro (scans/m) no es constante sino que depende de la velocidad de adquisición en cada momento. Si no se corrige los tramos en los que se ha avanzado despacio aparecen alargados debido a que están representados con más medidas, generando una deformación geométrica que afecta los procesos de interpolación posteriores.

2. Aplicación de un filtro de background para minimizar el efecto de la primera reflexión.

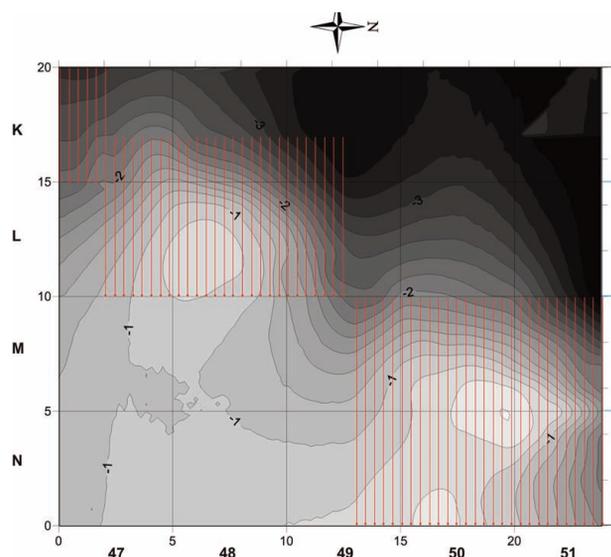


Fig. 5. Situación de los perfiles de georadar sobre mapa de relieve del área de los montículos.

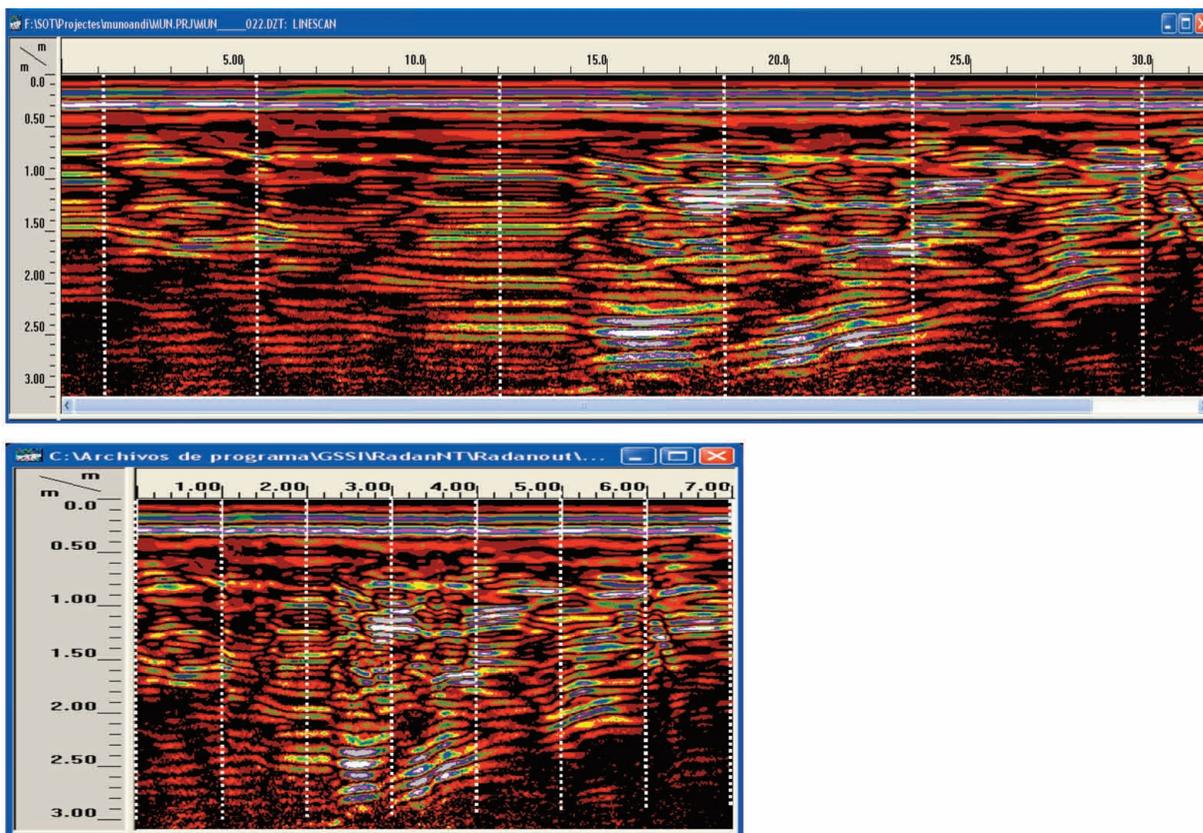
3. Corrección topográfica de altura de los radargramas e inclinación de la antena: para realizar esta operación se necesita el levantamiento topográfico del área explorada. Debido a que no se contaba con esta información, el equipo de excavación tomó medidas de altitud con una densidad de 1 medida/m.

4. Interpolación de los radargramas y generación de los cortes de tiempo: se generaron 50 cortes de 6.56 ns solapados en 3.58 ns. Teniendo en cuenta que la separación entre perfiles es de 40 cm se utilizó un radio de búsqueda circular de 0.60 m para la interpolar, utilizando para ello una función lineal.

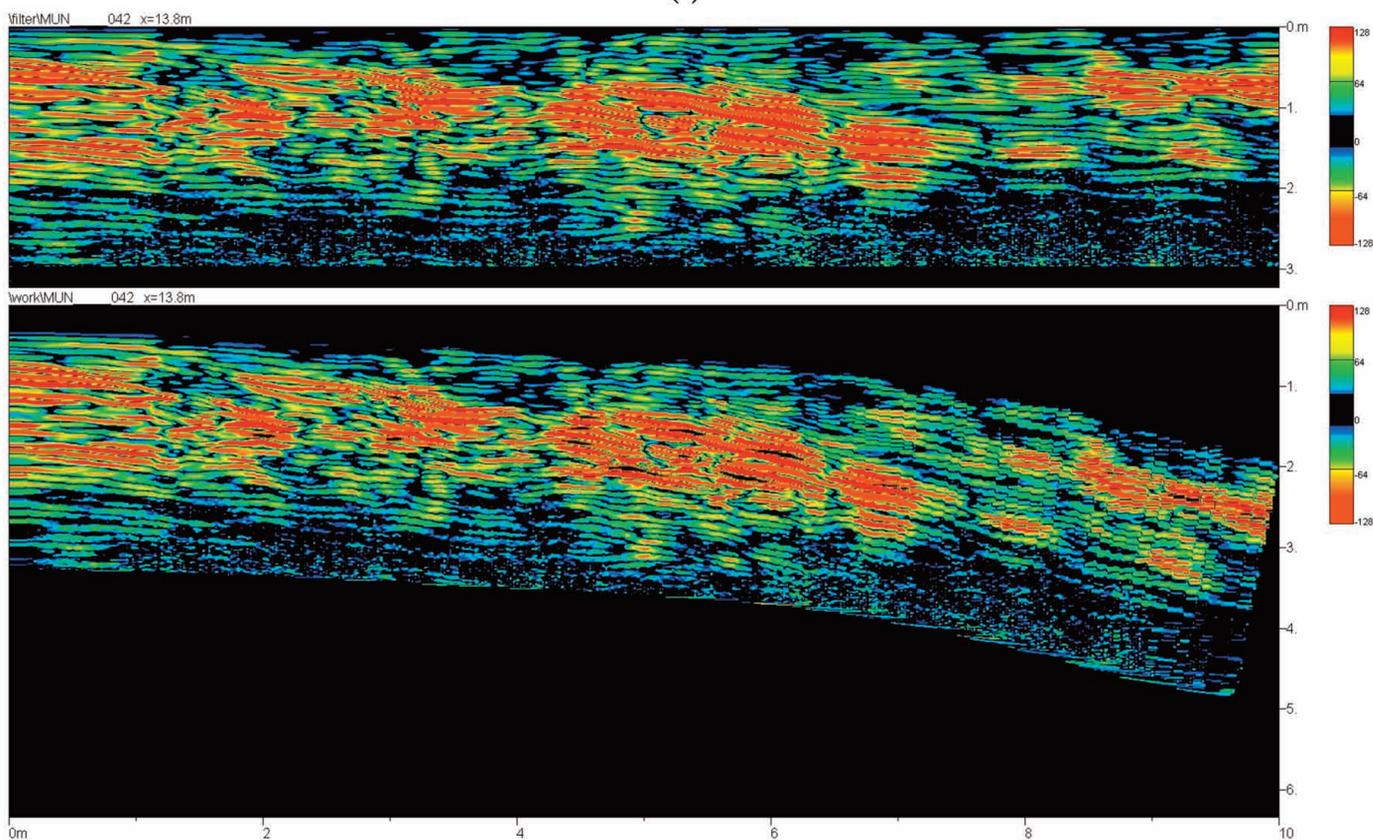
IV. RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los resultados de la prospección muestran una anomalía rectangular bajo en el montículo 2 (norte), a una profundidad aproximada de 0.90 m con respecto la cota 0 (Anomalía A). Presenta unas dimensiones aproximadas de 5 m X 6 m y una orientación SE-NO, con una potencia aproximada de 40 cm (Figura 7).

En el caso del montículo 1 (sur) no se detecta un perímetro que se mantenga en profundidad, pero en cambio se detecta una anomalía lineal que podría indicar un cierre (Anomalía B).



(a)



(b)

Fig. 6. Radargrama original y el resultado de las diferentes fases del tratamiento de datos. (a) Asignación de un número de scans/m constante a los radargramas. (b) La corrección topográfica y de inclinación de la antena.

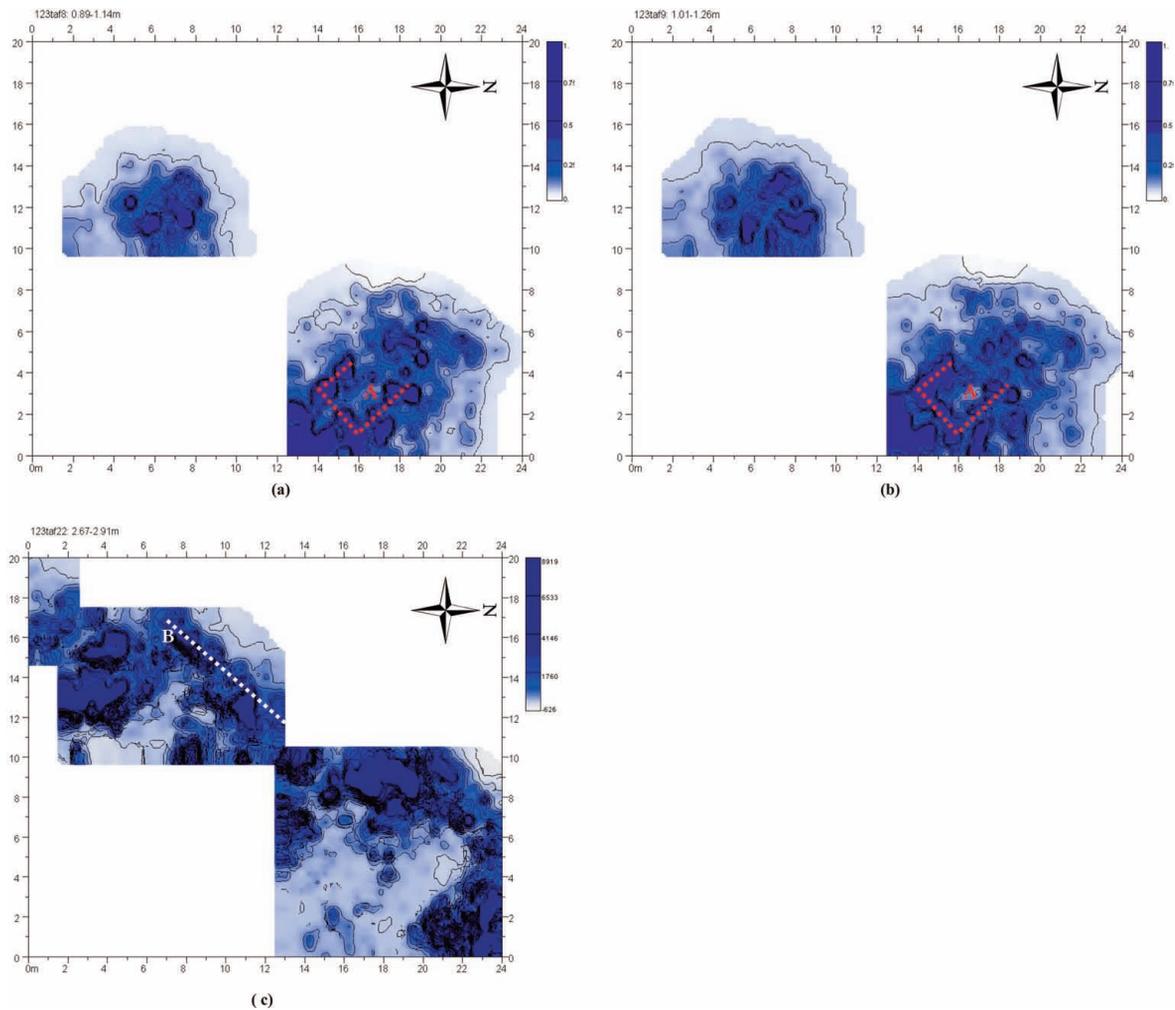


Fig. 7. (a) y (b) Cortes 8 (0.89m-1.14m bajo cota 0) y 9 (1.01m-1.26m bajo cota 0) respectivamente donde se señala la anomalía rectangular A. (c) Sobreposición (*Overlay*) de los cortes 19, 20, 21 y 22 (2.29m-2.91m bajo cota 0) donde se señala la anomalía lineal B.

V. RESULTADOS DE LA EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA

Fruto de los trabajos realizados en esta área de excavación y aunque no están finalizados, se pueden adelantar algunos resultados sobre los hallazgos localizados:

Los dos montículos excavados parecen corresponder a dos estructuras de planta cuadrada o poligonal anexos a la muralla y realizadas con muros de piedra dispuesta a seco. Estas dos construcciones, más o menos simétricas, parecen tener 12 m de lado aproximadamente y están delimitando el acceso al poblado, un paso de 2 m de anchura que sube hacia el interior del recinto en línea recta, perpendicular a la línea de muralla, siguiendo el relieve del terreno.

De las dos estructuras que delimitan la en-

trada al recinto, es la situada al sur de la que se dispone de una mayor cantidad de datos. La pared exterior sur de la misma está realizada con bloques rectangulares de dimensiones medias, conservando un mínimo de 3 hiladas. La zona de unión con el lienzo interior de la muralla forma una línea curva abierta, pudiendo estar fabricada al mismo tiempo, aunque de momento no contamos con suficientes datos al respecto. Tiene una orientación EO y un recorrido más o menos rectilíneo hacia el oeste. La pista forestal construida sobre la terraza superior ha cortado parte de este lienzo, así como seguramente el muro N-S que cerraría la estructura al interior del recinto. El muro norte, con una orientación NO-SE es el que delimita la zona de entrada. Su lienzo exterior sólo conserva una hilada formada por grandes bloques rectangulares de arenisca, dispuestos ordenadamente sobre el estrato del terreno. Este muro parece tener un re-

lleno al interior de gran anchura, aunque no se ha podido determinar sus dimensiones ni el cierre interior del mismo. La pared oeste de la estructura, aunque latente en algunos puntos, no está todavía delimitada. Posiblemente forma un todo con el paramento exterior de la muralla, hasta cerrar con el muro N de la construcción, pero el estado de conservación de los muros y el nivel de derrumbe existente no nos ha permitido definirlo por el momento (San Jose 2007).

En cuanto a la edificación situada al norte del acceso, conocemos aproximadamente el recorrido de los muros de la misma, pero debido al derrumbe existente sólo ha sido posible detectarlo en zonas muy puntuales. Todo apunta a que se trata de una estructura de características y dimensiones similares a la situada al sur.

Aunque el interior de estas estructuras no ha sido estudiado en profundidad cabe la posibilidad de que éstas no fueran huecas sino macizas, rellenas con material extraído del estrato geológico del terreno. Por lo menos, así se evidencia en las zonas más altas.

Así, según los trabajos realizados hasta el momento y a tenor de los datos anteriormente expuestos, interpretamos estas dos estructuras como dos posibles torres o construcciones de defensa del acceso al poblado. Si bien todavía no contamos con datos sobre la altura que pudieran alcanzar

estas torres, la gran cantidad de derrumbe existente y las dimensiones en longitud y anchura de las mismas, nos hace pensar que se trata de dos construcciones de gran entidad. Como simple dato, desde el punto más alto del derrumbe situado al interior de las estructuras hasta la cota más baja de la terraza inferior, situada al exterior de estas estructuras, actualmente hay una diferencia en altura de 8 m aproximadamente.

VI. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

La comparación entre la interpretación de los datos de georadar y la situación de los muros hallados durante la excavación muestran una mayor coincidencia en el caso del montículo 1, que parece estar mejor conservado que el montículo 2.

En contra de los indicios aportados por el georadar, durante los trabajos de excavación no se ha hallado ninguna estructura constructiva asociada a la anomalía rectangular A detectada bajo el montículo 2. Por otra parte, con el georadar no se detecta ninguna anomalía claramente identificable con el muro hallado en la excavación bajo este montículo. Dicho muro no se conserva en una hilada continua sino que se detecta únicamente por unas piedras aisladas, algo mayores que el resto, que marcan una alineación. Estas piedras además no se encuentran en un nivel plano, sino que presentan diferencias de cota de hasta 70 cm entre unas y otras.



Fig. 8. (a) Imagen de la alineación de piedras pertenecientes al muro no detectado en la prospección (montículo 2, muro Este de la estructura Norte). La imagen corresponde a un momento posterior al levantamiento de los niveles de derrumbe. (b) Detalle del momento donde empieza a determinarse la hilera del muro correspondiente a la anomalía B.

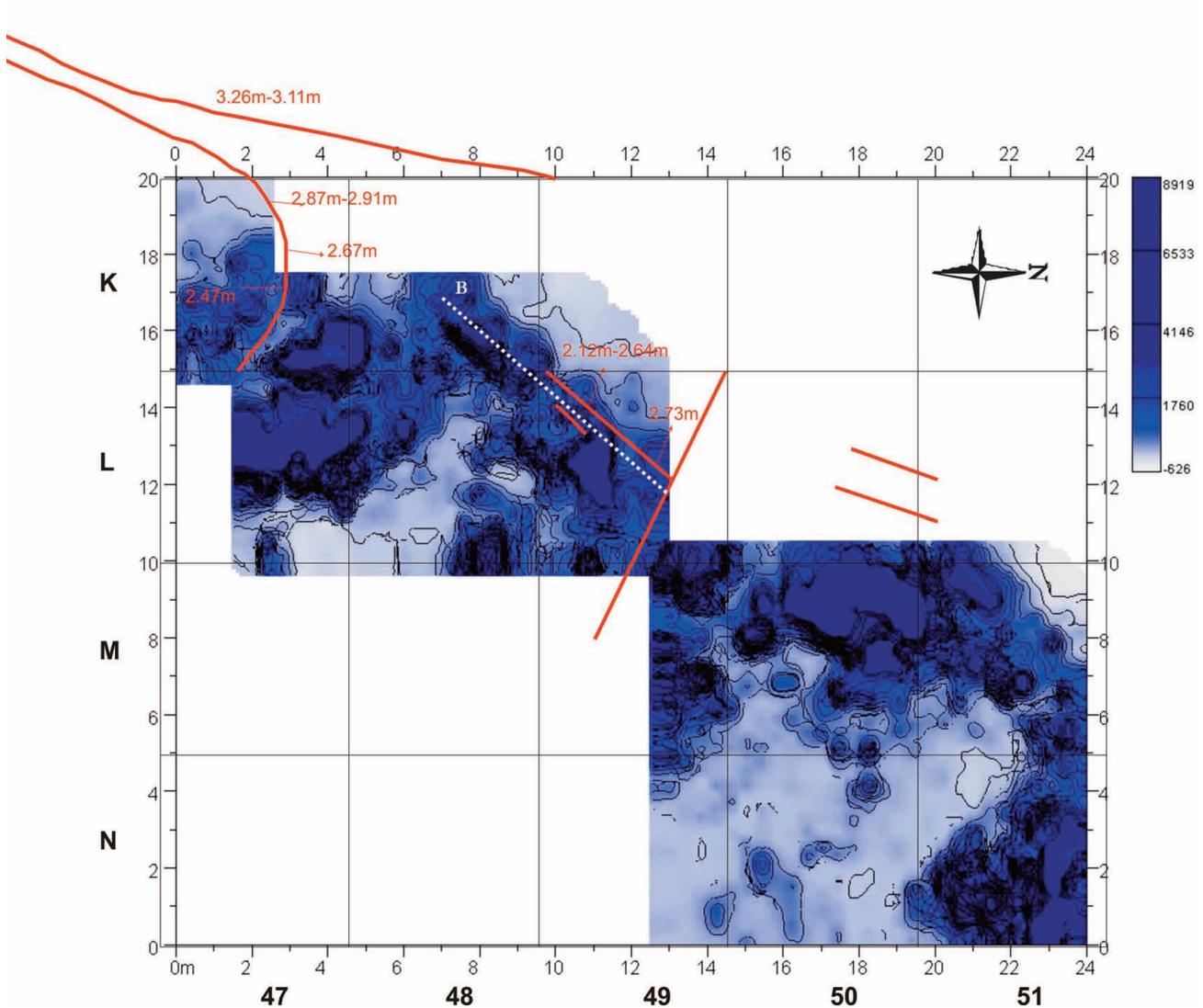


Fig. 9. Ubicación de los muros hallados en la excavación (en rojo) sobre los resultados de georadar situados entre 2.29m-2.91m bajo cota 0, donde se señala la anomalía B (en blanco).

En cambio, la anomalía B detectada bajo el montículo 2 corresponde a unos de los muros hallados en este punto durante la excavación. Aunque en la primera interpretación no fue identificado, el cierre del paramento interior de la muralla que vendría a unirse con el muro de la estructura defensiva también se detecta con el georadar.

De esta forma se observa que la interpretación de los datos de georadar sólo ha sido validada en algunos puntos por los resultados de la excavación. Esta divergencia proviene por una parte del bajo nivel de conservación de las estructuras, ya que incluso durante los trabajos de excavación no resulta sencillo distinguir a simple vista entre los ma-

teriales de derrumbe y los que se encuentran in situ. El hecho que haya diferencias de cota entre diferentes puntos de un mismo muro dificulta también ser identificado en los datos de georadar, ya que se ha utilizado principalmente una visualización en cortes de tiempo para el análisis de resultados.

Por otra parte, en contra de lo que se esperaba, el área de prospección no ha cubierto la extensión de las estructuras, y los muros mejor conservados que se han hallado hasta el momento están fuera del área estudiada.

Finalmente, la anomalía A identificada como una posible estructura y que no ha sido hallada du-

rante la excavación, podría ser un artefacto provocado por el uso de una topografía no suficientemente fina para el proceso de corrección topográfica. En efecto, mientras que la separación entre perfiles de georadar fue de 40 cm se utilizó una separación de 1 m para la malla topográfica. Este aspecto no sería tan determinante si no fuera por el bajo estado de conservación de las estructuras, ya que al haber poco contraste entre las estructuras y el entorno todas las influencias no

deseadas pueden pasar a un primer nivel.

De este trabajo se concluye la importancia de mantener una relación directa entre el equipo de prospección geofísica y la dirección arqueológica del yacimiento explorado. Las comprobaciones arqueológicas de los resultados de prospección permiten enmendar errores en la lectura de los datos y ajustar mejor la interpretación en zonas todavía no excavadas del yacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALIJOSTES, G.; OLANO, A.; SAN JOSE, S. 1999: "Prospecciones arqueológicas orientadas a la localización de yacimientos de la Edad del Hierro en Gipuzkoa". *Isturitz: Cuadernos de Prehistoria y Arqueología* 10, Donostia: 259-267.

CONYERS, LB y GOODMAN, D. 1997: *Ground Penetrating Radar. An introduction for archaeologists*. Alta Mira Press: CA.

GOODMAN, D.; NISHIMURA, Y. y ROGERS, J.D. 1995. "GPR time slices in archaeological prospection". *Archaeological Prospection* 2: 85-89.

GOODMAN, D. 2004: *GPR-Slice – Ground Penetrating Radar Imaging Software V 4.0. Quick Start Users Manual*. Geophysical Archaeometry Laboratory, CA.

GOODMAN, D.; NISHIMURA, Y.; HONGO, H. y HIGASHI, N. 2006: "Correcting Topography and the Tilt of Ground-Penetrating Radar Antennae". *Archaeological Prospection* 13: 157-161.

GOODMAN, D.; HIROMICHI, H.; HIGASHI, N.; NISHIMURA, Y.; TOKUDA, M. y DOK OH, H. 2009: "The application of GPR Overlay analysis in archaeological prospection: Discovery at the Japanese Imperial Family tombs in Miyazaki Prefecture". *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, suppl. 33: 295-297.

OLAETXEA, C.; PEÑALVER, X.; SAN JOSE, S. e. p.: "Vascones y várdulos, vecinos de los aquitanos: últimas aportaciones arqueológicas". *Jornadas sobre los Aquitanos y sus vecinos, (Toulouse 2005)*.

PEÑALVER, X. y SAN JOSE, S. 2003: *Burdin Aroko herri harresituak Gipuzkoan*. Bertan 20. Diputación Foral de Gipuzkoa. Donostia.

SALA, R.; GARCIA, E. y LAFUENTE, M. 2008: "Prospección geofísica para la arqueología: Contra el bulldozer". *Revista de Arqueología*, Año nº 29, Nº 328: 52-63.

SAN JOSE, S. 1995, 1998, 2000, 2006-2008: "Poblado fortificado de Munoandi (Azkoitia-Azpeitia)". *Arkeoikuska Investigación arqueológica*. Gobierno Vasco. Gasteiz.

WITTEN, A.J. 2006: *Handbook of Geophysics and Archaeology*. Equinox Publishing Ltd.

TÉCNICAS DE DOCUMENTACIÓN MÉTRICA Y GESTIÓN ESPACIAL DEL PATRIMONIO: APLICACIÓN A LOS TEJARES DE GEMUÑO (ÁVILA)

TECHNIQUES OF METRIC DOCUMENTATION AND SPATIAL MANAGEMENT OF THE HERITAGE: APPLICATION TO ROOF TILES FACTORY OF GEMUÑO (ÁVILA)

José Julio Zancajo Jimeno (1) / Teresa Mostaza Pérez (1)

(1) Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca

RESUMEN: En los últimos años hemos asistido a la aparición de nuevos sistemas de medición, que aportan nuevos enfoques en los levantamientos de elementos del patrimonio y complementan la actividad de documentación métrica de los mismos.

Estos sistemas ofrecen nuevas posibilidades que permiten una mejora en el conocimiento y visualización de estos elementos del patrimonio, así como una reproducción más exacta, que mejora ostensiblemente las posibilidades del estudio de los mismos.

SUMMARY: In the last years have appeared new systems of measurement that contribute new approaches in the rises of elements of the heritage and complement the activity of their metric documentation.

These systems offer new possibilities that allow to an improvement in the knowledge and visualization of these elements of the patrimony, and also a more exact reproduction, than it improves his possibilities of study.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio, documentación métrica, SIG, modelos virtuales

KEY WORDS: Heritage, metric documentation, GIS, virtual Models.

I. ANTECEDENTES

Los elementos del Patrimonio constituyen un bien cultural que pertenece, en última instancia, a toda la sociedad, sin perjuicio de su posesión inmediata por parte de una entidad pública o de un propietario privado, constituyendo un documento histórico de primera mano.

Son, por otro lado, una importante fuente de información y forman parte de la memoria histórica que cada comunidad tiene y que, por lo tanto, debe **estudiar, proteger y transmitir** a las generaciones venideras.

Como fuente de información, han de estudiarse en todos los aspectos relacionados con estos elementos, ya que el conjunto de ellos nos proporcionará información sobre costumbres, creencias, etc. de nuestros antepasados, lo que nos permite conocer y explicar hechos del presente:

-Morfología: del griego *morfos*, forma y «λογος» *logos*, estudio, estudia la generación y las propiedades de la forma. Con el conocimiento de la figura, a través de la lectura morfológica (proceso de comprensión y comunicación de la forma) es posible desarrollar formas desarrollables. Entre los aspectos configurativos que hacen que la forma sea percibida táctil y visualmente y comuniquen su función operativa, podemos destacar el color, la textura y los brillos o transparencias.

-Dimensiones: del latín *dimensio*, "medida" referidas a un objeto, son las medidas que definen su forma y tamaño. En las ciencias físicas y la ingeniería, el tamaño de una magnitud física es la expresión del tipo de unidades de medida en que esta cantidad se expresa.

-Orientación: procede de la palabra "oriente" y es la forma en la que conocemos el espacio que nos rodea, guiándonos por unos puntos

ya conocidos que actúan como referencia. En definitiva, es la forma de ubicarse en el espacio.

En lo que se refiere al ámbito de este trabajo, nos centraremos sobre el aspecto dimensional, con la descripción de los nuevos equipos que permiten mejorar el establecimiento de esta variable.

II. ESTUDIO DIMENSIONAL

Una circunstancia de especial relevancia en el estudio de los elementos del Patrimonio es su preservación. Por tanto, las metodologías de documentación espacial han de ajustarse a la misma y proveer, a su vez, de una adecuada información del objeto que permita obtener de forma fiable y exacta las dimensiones del mismo.

El objetivo será obtener las dimensiones de los objetos y sus características geométricas, (Teutsch 2007) con el fin de poder realizar reconstrucciones fieles de los mismos, en caso de deterioro, y generar modelos de los objetos de estudio (reproducciones), que permitan su estudio, sin necesidad de trabajar con el elemento original, circunstancia de especial interés para objetos cuya fragilidad pueda suponer un problema en su manejo o cuyas dimensiones no permitan trabajar de forma sencilla con él.

El objetivo en el segundo caso será proveer



Fig. 1. Escáner Láser 3D Trimble GX, equipo utilizado para la toma de datos del presente trabajo.

al investigador de un modelo lo suficientemente detallado como para permitir su estudio sin pérdidas de información significativas.

En este sentido, es de alto interés conseguir reproducciones mediante Modelos 3D (Lkeuchi 2001), que proporcionan una visión global del objeto de estudio, y de animaciones del objeto, que ofrecen una visualización interactiva y muy expresiva.

No hay que olvidar que estas visualizaciones son también un modo muy interesante de difusión del Patrimonio, faceta a tener en cuenta para su conservación.

El Escáner Láser 3D

En el ámbito de las técnicas métricas de modelización tridimensional, se ha introducido en los últimos años el denominado Escáner Láser 3D. Este equipo permite la toma de datos de un objeto mediante técnicas no destructivas obteniendo un modelo métrico tridimensional.

El Escáner Láser 3D permite generar una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto. Con estos puntos es posible extrapolar la forma del objeto, mediante el proceso de re-edificación o re-construcción (Curlless 2000). Además, es posible almacenar para cada punto la información de color, lo que supone que la reconstrucción final permite una reconstrucción de la morfología del objeto en todas sus facetas.

Como ventajas de este equipo podemos citar las siguientes:

- Tiempo de toma de datos muy inferior al de las estaciones clásicas de topografía. Estos equipos son capaces de tomar millones de puntos del objeto. Para el escáner láser 3D Trimble GX, por ejemplo, está cifrado en un valor de hasta 5.000 puntos por segundo.

- Dada la capacidad de toma de datos, permite realizar una definición exhaustiva del objeto.

Es posible, dependiendo de las características del equipo, realizar tomas con resolución por debajo del milímetro de tamaño de la rejilla.

Con estas resoluciones de rejilla, es posible una reconstrucción tanto en la forma como en las dimensiones altamente detallada.

-Una característica asociada al sistema de toma de datos es la generación métrica de modelos tridimensionales de los objetos, permitiendo visualizaciones 3D en tiempo real.

Sin embargo estos equipos presentan también algunos inconvenientes, precisamente derivados de la exhaustiva definición de los objetos. El número tan elevado de puntos, supone un inconveniente en el posterior procesado de la información, generando archivos de gran tamaño para el tratamiento en los programas estándar de trabajo.

Otro inconveniente está asociado con el sistema de toma. El equipo realiza una división de la toma en una rejilla, lo que impide la preselección de puntos para la definición del objeto. Esta circunstancia obliga a establecer dimensiones de rejilla muy pequeñas para minimizar las circunstancias descritas.

Por último, los modelos 3D resultantes de la toma de datos, son generalmente muy pesados para su manejo directo en animaciones, por lo que se hace necesaria una generalización para realizar estas animaciones y poder manejarlas de una forma adecuada.

III. ESTUDIO DE LA POSICIÓN

Una característica esencial en los elementos del Patrimonio es la posición espacial. Sin duda alguna, la posición es un elemento de estudio que proporciona una información de alto interés y que es necesario tratar adecuadamente.

El estudio de la posición se realiza desde dos puntos de vista:

-La posición absoluta, es decir, el lugar sobre el que se asienta el objeto.

-La posición relativa, o relación espacial con otros objetos del entorno.

Para poder realizar estos estudios de forma eficaz es necesaria la integración de la información del objeto con el resto de documentación cartográfica de interés para los objetivos de la investigación (Wheatley *et al.* 2002).

En este sentido, será necesaria la integración de documentos cartográficos tanto de diferentes fuentes (cartografía estatal, autonómica, local) como en diferentes formatos (vectorial, ráster).

Actualmente, una fuente de datos muy utilizada por su expresión del territorio son las ortofotografías. La integración de esta información junto a la de detalle de los objetos, permite realizar estudios posicionales detallados, puesto que la información del territorio que ofrecen es muy detallada, ya que no sólo me proporcionan información posicional sino también de cobertura vegetal, etc.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Sin duda alguna, para abordar un adecuado estudio posicional de los objetos, el mejor medio es la tecnología SIG (Harvey 2008), ya que, por su propia definición, cualquier sistema de información geográfica es capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En definitiva, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Estos sistemas están basados en la formación de Bases de Datos Espaciales, que permiten gestionar la información geográfica de una forma eficaz y eficiente (Elangovan 2006).

Por otro lado, estos sistemas permiten integrar la información de diferentes fuentes y formatos y gestionarla de forma conjunta, objetivo esencial para el estudio posicional, tal y como se ha planteado.



Fig. 2. Disposición de las tejas en el horno para su cocción.

IV. APLICACIÓN A LOS TEJARES DE GEMUÑO (ÁVILA)

EL levantamiento se enmarca dentro del trabajo encargado por la Fundación ASOCIO de Ávila, con el fin de documentar espacialmente los Tejares existentes en el municipio de Gemuño (Ávila), ligados a la actividad de fabricación de tejas, en concreto la denominada teja árabe, en este momento ya desaparecida.

El primer objetivo del trabajo realizado era ofrecer un conocimiento de las estructuras de los hornos utilizados en la producción de la denominada Teja Árabe mediante la técnica de cocido del barro tradicional.

Para cumplir este objetivo se utilizó como técnica métrica de documentación el escáner láser 3D, comentado en apartados anteriores y, en concreto, el escáner láser 3D de Trimble® modelo GX.

Otro objetivo era el conocimiento de los emplazamientos y distribución de los diferentes tejares en el Municipio. Para acometer este objetivo se recopiló la información referente a los Tejares existentes, sus propietarios y su ubicación espacial, integrando esta información junto a documentos cartográficos que permitieran ubicar espacialmente la actividad de producción de Teja Árabe, estructurando esta información en una Base de Datos Espacial para su gestión mediante Sistemas de Información Geográfica.

Resultados

En el momento de inicio del trabajo, el único



Fig. 3. Bocas de introducción de combustible de los hornos.

Tejar en producción era el correspondiente a “Santos y Félix Hernández, C.B.”, cuya actividad cesó precisamente el 30 de noviembre de 2008, por jubilación de uno de los propietarios.

De este Tejar se obtuvieron diversas imágenes correspondientes a la última cocción de tejas realizada, que se adjuntan a continuación.

La actividad de producción de teja árabe se distribuyó por el municipio de Gemuño (Ávila) en un total de 13 tejares, de los cuales quedan restos de 8, algunos en muy mal estado.

Con el láser escáner 3D se procedió a la toma de los restos de los 8 tejares comentados, con una resolución de toma final estimada en una malla de aproximadamente 1 mm. El número de puntos resultantes final asciende a un total de más de veinte millones de puntos.

A partir de estas tomas se han obtenido visualizaciones 3D, generando una serie de películas para su visualización en color real y en blanco.

Estas nubes de puntos se han exportado posteriormente a AutoCAD, para modelizaciones futu-

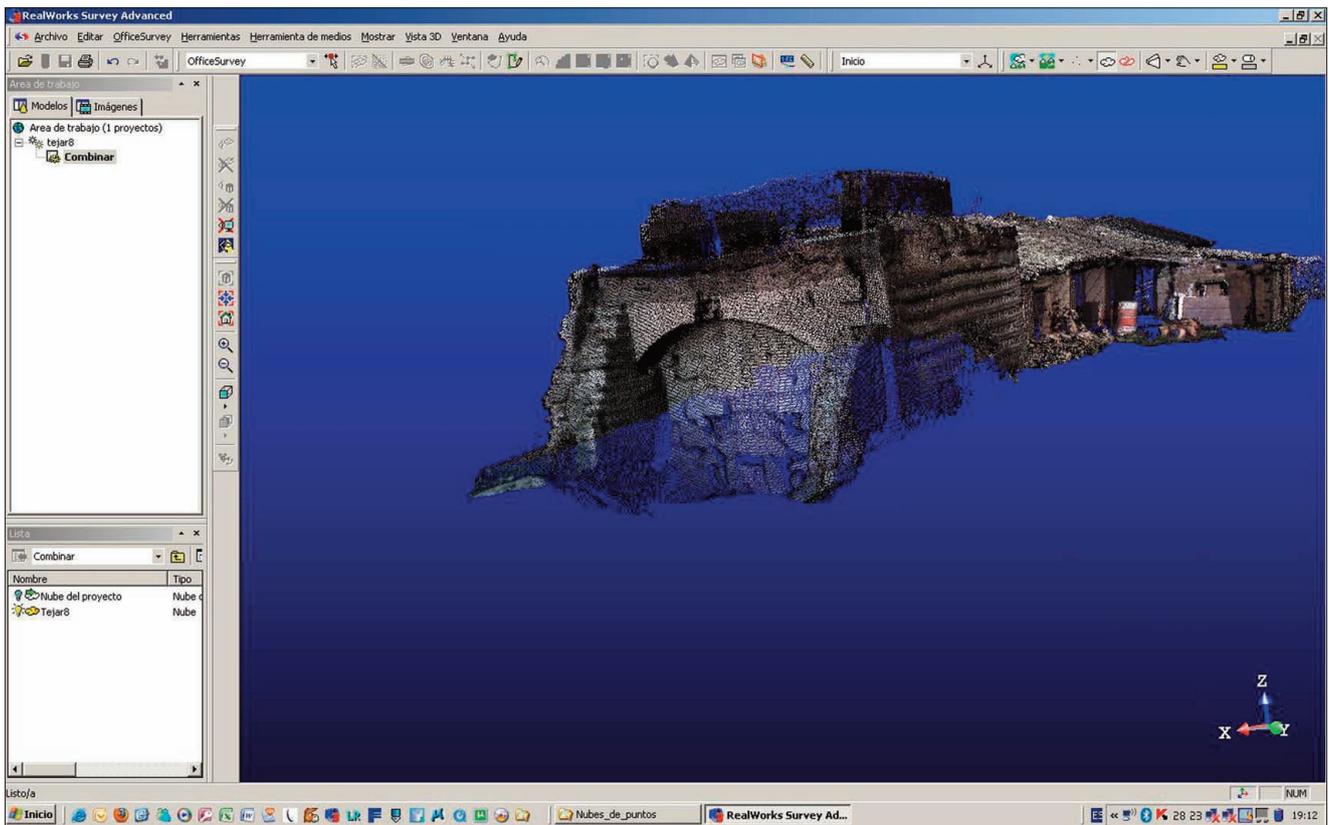


Fig. 4. Visualización de las nubes de puntos tomadas con el escáner láser 3D.

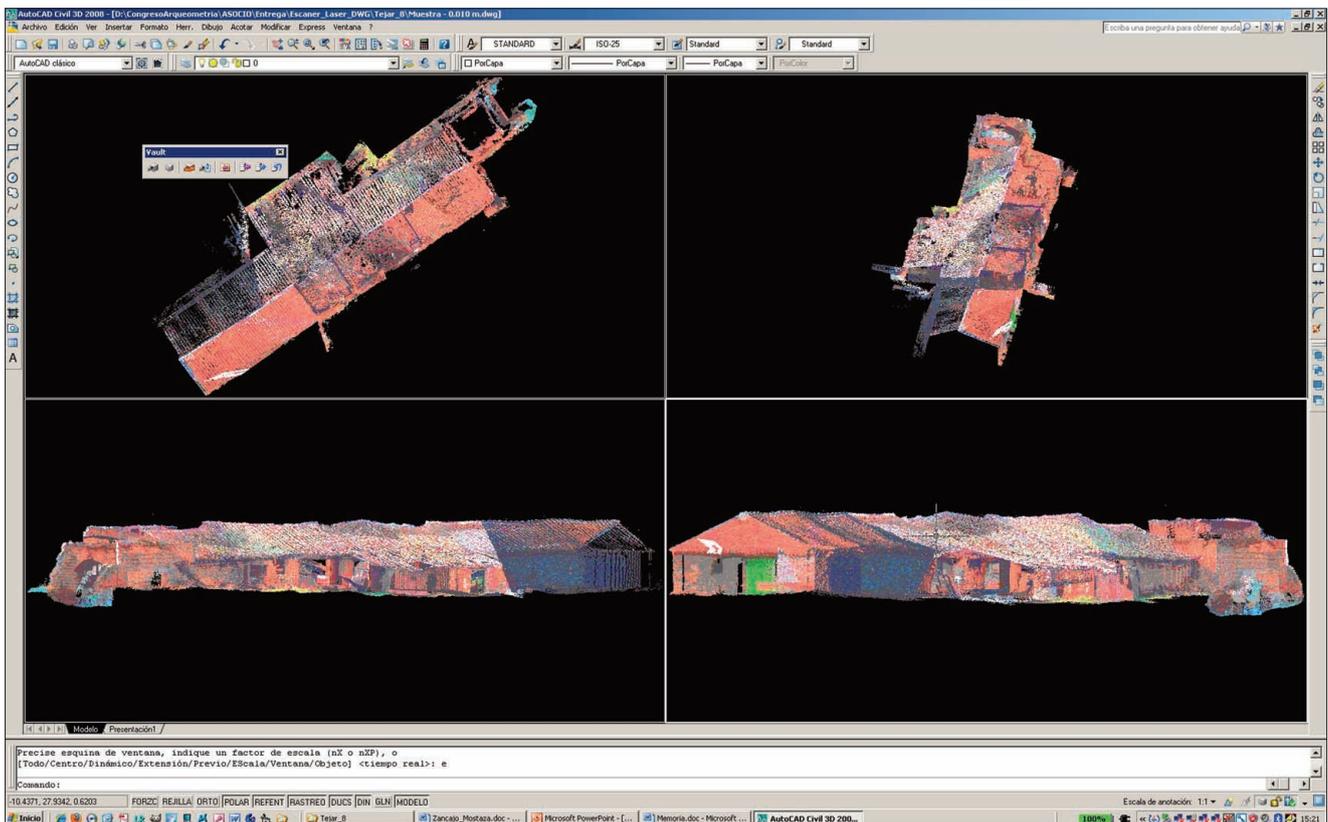


Fig. 5. Visualización en AutoCAD® de las nubes de puntos, con resolución de 10 mm.

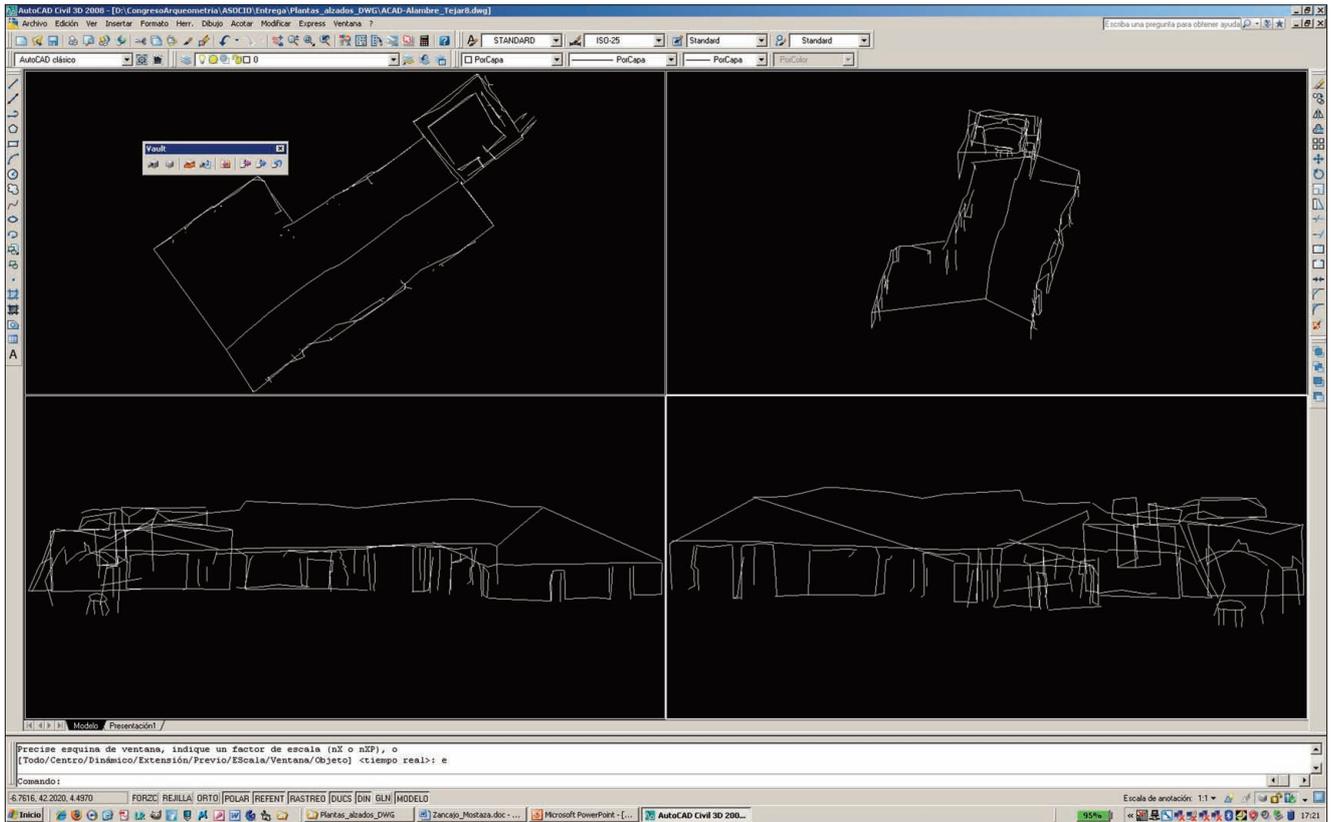


Fig. 6. Visualización en AutoCAD® de Alzados y Plantas.

ras. Dada la gran cantidad de puntos adquirida, el tamaño de los archivos resultantes era excesivamente grande, por lo que se optó por una exportación con generalizaciones a rejillas de 10, 20 y 30 mm.

A partir de las nubes de puntos se han obtenido en formato *dwg* las plantas y alzados de los tejares tomados con el escáner láser 3D.

Por último, de cara al estudio posicional de los tejares se formalizó una Base de Datos Espacial, en la que se han introducido tres tipos de entidades:

-Hornos, definidos como elementos puntuales.

-Tinaos, lugar donde se almacenaban las tejas para su secado antes de la cocción, como elementos superficiales.

-Zonas de “pisa”, donde se trabajaba el barro para después darle la forma definitiva, elementos superficiales representados mediante círculos, morfología original correspondiente a estos elementos.

En el caso de la entidad “Hornos” se ha definido con los siguientes campos:

-ID: Campo Identificador, definido como Autonumérico.

-Propietario: Campo de texto que contiene el nombre del Propietario del Tejar.

-Restos: Campo Booleano que informa sobre la existencia o no de restos de los Hornos de los Tejares (SI/NO).

Estas fichas se han almacenado en formato “*shape*” de ESRI, para su gestión mediante Sistemas de Información Geográfica.

Por otro lado, y con el fin de mejorar la ubicación espacial, se ha obtenido la Ortofotografía correspondiente a la zona de estudio, que abarca los Hornos de los Tejares localizados, obtenida a partir de la fusión y recorte correspondientes a las Ortofotografías de las Hojas “H_531_1-2” y “H_531_2-2”, a escala 1/5.000 del Instituto Geográfico Nacional.

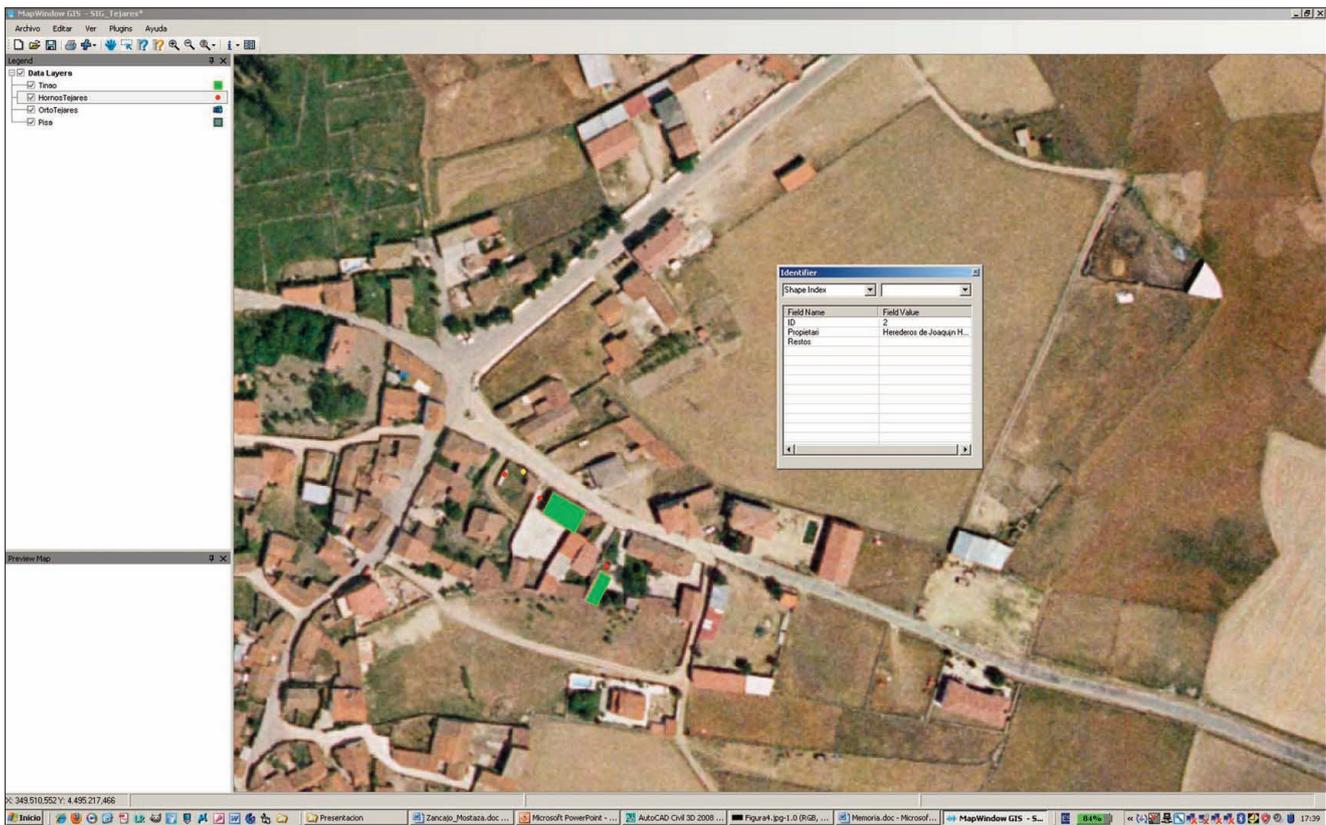


Fig. 7. Visualización de la posición de los Tejares en combinación con la ortofoto de la zona.

V. CONCLUSIONES

El sistema del escáner láser 3D a priori se caracteriza por la rapidez en la captura de datos. Hemos comprobado la veracidad de este punto.

Hay que reseñar que el aparato es sensible a las condiciones climáticas. El proceso de captura de datos se realizó en condiciones límite. La temperatura bajo cero y viento que influía en la sensación térmica dificultó en varias ocasiones el trabajo de campo.

A partir de la nube de puntos es posible realizar diferentes operaciones con los datos que facilitan la obtención de diferentes productos (sólidos, ortofotografías, curvados,...)

La integración de información proveniente de diversas fuentes se puede realizar mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, lo que facilita un valor añadido en cuanto al estudio métrico y espacial.

BIBLIOGRAFÍA

- BERRY, J.K. 1993: *Beyond Mapping: Concepts, Algorithms and Issues in GIS*. GIS World Books (Ed). Fort Collins, CO USA.
- BLAIS, F. et al. 2004: "Accurate 3D acquisition of freely moving objects". *Proceedings. 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Septiembre 2004*. Thessaloniki, Grecia: 422-429.
- BOLSTAD, P. 2005: *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems*. Second Edition. Eider Press. White Bear Lake, MN USA.
- BOSQUE SENDRA, J. 1992: *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp. Madrid.
- BURROUGH, P.A. et al. 1998: *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford.
- BUZAI, G.D. et al. 2006: *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- CALVO, M. 1992: *Sistemas de Información Geográfica Digitales: Sistemas geomáticos*. IVAP-EUSKOIKER. Oñati.
- CHANG, K. 2007: *Introduction to Geographic Information System*, 4th Edition. McGraw Hill. New York.
- CHEN, O. et al. 2005: "A light Modulation/Demodulation Method for Real-Time 3D Imaging". *Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'05)*. 13-16 June 2005, Ottawa, Ontario, Canada. IEEE Computer Society: 15-21.
- CURLESS, B. 2000: "From Range Scans to 3D Models," *ACM SIGGRAPH 1999. Computer Graphics*, Vol. 33, Issue 4, Nov 2000: 38-41
- ELANGO VAN, K. 2006: *GIS: Fundamentals, Applications and Implementations*. New India Publishing Agency. New Delhi.
- HARVEY, F. 2008: *A Primer of GIS, Fundamental geographic and cartographic concepts*. The Guilford Press. New York.
- HEYWOOD, I. et al. 2006: *An Introduction to Geographical Information Systems*. 3rd edition. Prentice Hall. England.
- LAVELLE, J.P. et al. 2004: "High Speed 3D Scanner with Real-Time 3D Processing". *IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques*. Suesa, Italy, 14 May 2004:13-17
- LONGLEY, P.A. et al. 2005: *Geographic Information Systems and Science*. 2nd edition. Wiley. Chichester. England.
- LKEUCHI, K. 2001: "Modeling from Reality," *Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM 2001)*. 28 May-1 June 2001. Quebec. Canada: 117-124.
- MAGUIRE, D.J. et al. 1997: *Geographic Information Systems: principles, and applications*. Longman Scientific and Technical. Harlow.
- OTT, T. et al. 2001: *Time-integrative GIS. Management and analysis of spatio-temporal data*. Springer. Berlin / Heidelberg / New York.
- TEUTSCH, C. 2007: *Model-based Analysis and Evaluation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners*. Volume 1. Shaker Verlag.
- THURSTON, J. et al. 2003: *Integrated Geospatial Technologies: A Guide to GPS, GIS, and Data Logging*. Wiley. Hoboken, New Jersey.
- TOMLIN, C.D. 1991: *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. Prentice Hall. New Jersey.
- TOMLINSON, R.F. 2005: *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. ESRI Press. Redland. CA.
- WISE, S. 2002: *GIS Basics*. Taylor & Francis. London.
- WORBOYS, M. et al. 2004: *GIS: a computing perspective*. CRC Press. Boca Raton.
- WHEATLEY, D. et al. 2002: *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS*. Taylor & Francis. London, New York.

EXPERIENCIAS DE TELEDETECCIÓN PASIVA Y ACTIVA EN EL ESTUDIO ARQUEOLÓGICO DE LA CIUDAD CELTIBÉRICA DE SEGEDA (MARA, ZARAGOZA)

EXPERIENCES OF PASSIVE AND ACTIVE REMOTE SENSING IN THE ARCHAEOLOGICAL STUDY OF THE SEGEDA CITY (MARA, ZARAGOZA)

Raúl López Romero (1) / Juan Gregorio Rejas Ayuga (2) / Francisco Burillo Mozota (3) / M.^a Ascensión Cano Díaz (1) / M.^a Esperanza Saiz Carrasco (1) / Mercedes Farjas Abadía (4) / Teresa Mostaza Pérez (5) / Julio J. Zancajo Jimeno (5)

(1) Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda

(2) Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

(3) Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de Teruel, Universidad de Zaragoza

(4) E.T.S.I. de Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid

(5) Escuela Politécnica Superior de Avila, Universidad de Salamanca

RESUMEN: En la siguiente comunicación se presenta los diferentes resultados obtenidos tras cuatro años ininterrumpidos de aplicación de diferentes técnicas y metodologías de teledetección con imágenes hiperespectrales y multiespectrales térmicas en la Zona Arqueológica de Segeda (Mara – Belmonte de Gracián, Zaragoza) y su entorno, como herramientas útiles para el descubrimiento de estructuras o rupturas arqueológicas soterradas. En el presente se resumen las diferentes campañas de adquisición de datos, la metodología utilizada en el tratamiento digital de los datos y las posibilidades de integración de esta información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para un posterior análisis geoespacial de la configuración del yacimiento.

SUMMARY: In the next article, is the review the different results obtained after four consecutive years of application of different techniques and methodologies of remote sensing techniques and methodologies applied to the study of the archaeological site of Segeda (Mara – Belmonte de Gracián, Zaragoza) and their environment, as tools useful for the discovery of buried archaeological structures or ruptures. In this summarizes is the review the various data acquisition campaigns, the methodology used in digital processing of data and the possibilities of integrating this information into a Geographical Information Systems (GIS) for further spatial analysis of the configuration of the site.

PALABRAS CLAVE: Hiperespectral, SAR, anomalías espectrales, teledetección, estructuras arqueológicas, SIG, Segeda.

KEY WORDS: Hyperspectral, SAR, spectral anomaly, remote sensing, archaeological structures, GIS, Segeda.

I. INTRODUCCIÓN

La Zona Arqueológica de Segeda se extiende entre los términos municipales de Mara y Belmonte de Gracián, ambos pertenecientes a la provincia de Zaragoza, a escasos 15 km de la ciudad de Calatayud, en la cuenca del río Perejiles. Los trabajos arqueológicos que se vienen desarrollando desde 1998 están confirmando su correspondencia con las distintas fases de la homónima ciudad celtibérica (Burillo 2001-2, 215-238). Las fuentes clásicas nos relatan la importancia que tuvo dicha urbe siendo una ampliación de la ciudad y sus fortificaciones la que conllevó al enfrentamiento con la emergente Roma en el año 153 a.C. (Apiano Iber., 45) en plena expansión por el Noroeste de la Pe-

nínsula Ibérica, trasladándose su población a la vecina ciudad de Numancia conllevando su entrada en el conflicto bélico.

Sin embargo, no serán los datos aportados por los autores clásicos, ni la abundante numismática emitida (Gomis 2001) y tampoco los materiales arqueológicos recuperados por el equipo de investigación lo que le confiera a esta yacimiento como importante para la investigación arqueológica, sino serán sus características topográficas y las condiciones geomorfológicas que configuraron este yacimiento arqueológico. La Zona Arqueológica de Segeda se configura con la unión de dos fases distintas de la ciudad de Segeda. La fase celtibérica, denominada por el equipo de excavación

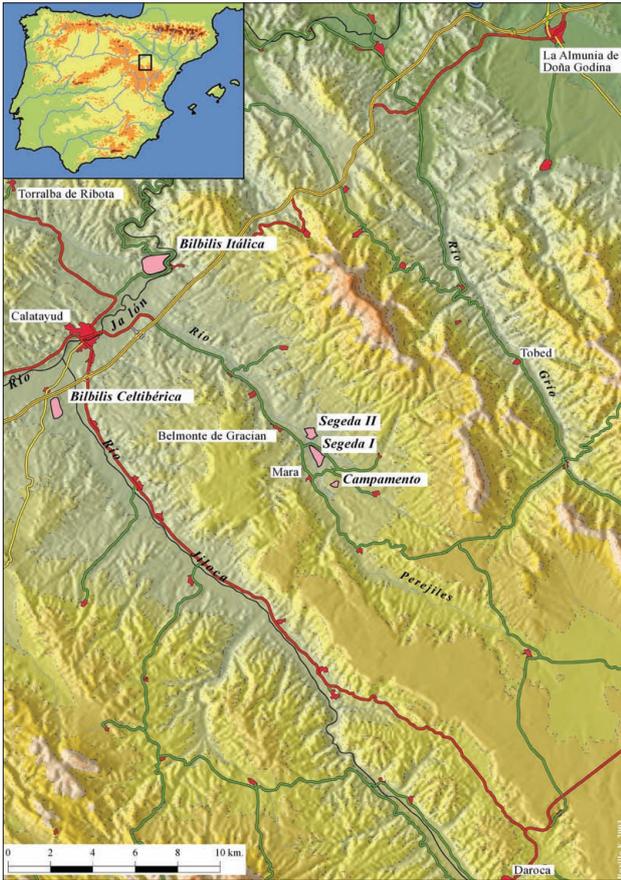


Fig. 1. Mapa de situación de la Zona Arqueológica de Segeda.

como *Segeda I*, surge en el núcleo del cerro del Poyo de Mara y se extiende por los campos del entorno; posteriormente aparecerá la urbe celtiberrmana de *Segeda II*, un asentamiento creado tras la destrucción por Roma del primer núcleo y caracterizada por ser una ciudad de las denominadas en “llano”, encontrándose inmediata al núcleo original (Burillo 2006).

La gran extensión (entorno a las 40 ha) y la ubicación en la que se encuentran estos asentamientos configurará un área de test idónea para la aplicación de nuevas metodologías de teledetección por su accesibilidad a diferentes espectros de estructuras arqueológicas. A ello se debe sumar la variedad tipológica de los restos materiales existentes, tanto por los materiales empleados (yesos, calizas, cuarcitas, adobes, etc.), como en sus dimensiones y edificación (murallas, muros perimetrales, muros divisores, mosaicos, enlosados, etc.) y a la posibilidad de la comprobación de estos resultados con las continuas campañas de excavación que en ella se desarrollan. Sin embargo, el mayor aporte para la evaluación de estas técnicas proviene de las notables diferencias del espesor de sedimentos bajo los que se encuentran enterradas las estructuras arqueológicas, localizando en entornos próximos restos arqueológicos a menos de 30 cm de la superficie (Burillo *et al.* 2008), frente a otras áreas donde las evidencias arqueológicas son documentadas a profundidades mayores de los 2 m como es el caso del Área 3 de *Segeda I* (Burillo 2001-2002).

Por tanto, a efectos de teledetección, este enclave arqueológico tiene la relevancia de ser un área de test idóneo donde poder desarrollar y validar las diferentes metodologías de prospección, debido a su estado de excavación, que si bien es secuencial y riguroso, podríamos calificar de incipiente, lo que permite ir contrastando los resultados según se desarrollan los trabajos arqueológicos.



Fig. 2. Las dos imágenes muestran el diferentes espesor de sedimentos que cubren los restos de la Zona Arqueológica de Segeda. La imagen izquierda correspondiente al Área 3 con sedimentos a más de 1,60 m y la imagen derecha, Área 4, a menos de 50 cm.

Esta experimentación en el uso de estas nuevas técnicas busca evaluar la posibilidad de su integración dentro de las diferentes líneas de investigación arqueológica que se aplican en la actualidad. En los últimos años, los nuevos sensores de teledetección, tanto los pasivos como los activos, aplicados en la prospección arqueológica han demostrando su potencial como importantes instrumentos para la localización de subsidencias o estructuras arqueológicas, como indican recientes publicaciones científicas (Belvedere *et al.* 2001; Emmolo *et al.* 2004; Weller 2006). Sin embargo, son escasas las veces que se pretende localizar estos elementos arqueológicos a partir del estudio de las respuestas que emite la superficie del terreno en longitudes de onda más allá del espectro visible. Los estudios que estamos desarrollando demuestran que el análisis de la respuesta de la superficie en longitudes de onda del espectro reflectivo (VIS-SWIR) y emisor (TIR) puede representarnos información de estructuras o formaciones creadas por el hombre y enterradas en la actualidad. En este caso el estudio se ha centrado en las bandas térmicas, por ser aquí donde en principio, y en base a experiencias previas (Farjas *et al.* 2003) es posible discriminar fenómenos que correspondan a estructuras enterradas.

II. MARCO DE TRABAJO: ESTRATEGIA MULTIFUENTE Y MULTIESCALA

La metodología empleada siguió una estrategia de trabajo multi, micro, media y macro escala, afectando a los hallazgos y artefactos, al yacimiento y a la región, respectivamente. Los datos empleados en este trabajo han respondido a este planteamiento. Por ello, desde 2005 se adquirieron un conjunto de imágenes de distintos sensores y desde distintas plataformas que representamos en la siguiente tabla:

DATO	SENSOR	PLATAFORMA	AÑO
Multiespectral	ETM+	Landsat 7	2002
Hiperespectral	AHS	Aérea	2005
SAR	ASAR	ENVISAT	2004 y 2006
SAR	Prototipo-INTA	Aérea(*)	2006
Térmico	Thermacam	Terrestre	2006
Láser 3D	Trimble GX 3D	Trípode	2007
Fotografía	Nikon D70	Terrestre	2007
Fotografía	Cámara Digital	UAV(*)	2008

Tabla 1. Origen y características de los datos utilizados en la investigación.

Para aumentar el conjunto de datos se obtuvieron dos pases ascendentes ASAR (ENVISAT), correspondientes a las fechas del 31 de agosto de 2004 y del 5 de septiembre de 2006. Estas escenas fueron seleccionadas porque abarcaban una gran área, 100 x 100 km, entorno a la actual ciudad de Calatayud, englobando así lo que sería la Zona Arqueológica de Segeda, y su probable área de captación de recursos. Dichas imágenes fueron procesadas con el programa RAT (HUhttp://srv-43-200.bv.tuberlin.de/rat/UH), transformándolas a formato Simple Look Complex y posteriormente a imágenes de amplitud. La georreferenciación de la escena del año 2004 se realizó por método polinómico a partir de 55 GCP's, corrigiendo a su resultado la correspondiente al año 2006.

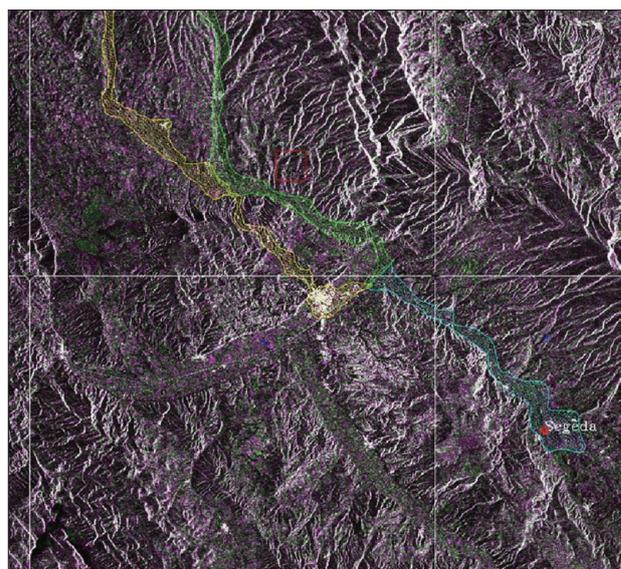


Fig. 3. Imagen ASAR multitemporal (2004-2006) correspondiente al entorno de la Zona Arqueológica de Segeda, superpuesta a vectores (cyan, verde y amarillo) de posibles rutas en dirección a Numancia.

Junto a la adquisición de estas imágenes, se completaron los datos con la realización de una campaña de radiometría de campo, cuyo objetivo era obtener una biblioteca espectral de los materiales más representativos de los enclaves arqueológicos para lo cual se utilizó el espectrorradiómetro GER 1500. A las medidas obtenidas se añadió una serie de medidas radiométricas realizadas en laboratorio con el espectrorradiómetro ASD con la intencionalidad de obtener una caracterización espectral de diferentes muestras de minerales recogidas y la obtención de firmas espectrales de las superficies medidas.

La amplitud y diversidad del origen de los datos utilizados conllevó necesariamente a una transformación de los parámetros de las imágenes a una escala absoluta, tanto de forma espacial como espectral, para permitir su procesamiento de forma conjunta, de tal manera que podamos referir las medidas extraídas a otras procedentes de los distintos sensores o tomadas en distintas fechas. Con esto se preparó el conjunto de los datos para su posterior análisis que permitiesen correlacionar espacialmente los elementos correspondientes a estructuras o elementos arqueológicos (murallas, muros, estructuras arqueológicas, restos de origen orgánico, etc) con la temperatura emitida por la superficie en el momento que fueron registrados por los sensores y otros parámetros clásicos extraídos mediante técnicas de tratamiento de imagen.

III. PREPROCESADO DE LAS IMÁGENES HIPERESPECTRALES. CORRECCIONES RADIOMÉTRICAS Y CORRECCIONES GEOMÉTRICAS

En el inicio del análisis de las imágenes y datos auxiliares obtenidos es preciso realizar una serie de tareas con la funcionalidad de corregir dos tipos de distorsiones que sufren estas imágenes en su momento de adquisición, las distorsiones radiométricas y las geométricas.

En primer paso fue la aplicación del algoritmo MNF (*Minimum Noise Fraction*) en las imá-

genes hiperespectrales, que permitió reducir el ruido. Para las bandas térmicas, se han desechado los canales 55 a 64 y canal 70 por presentar una relación señal/ruido elevada en este caso, y se ha aplicado una interpolación lineal utilizando el nivel digital registrado y la temperatura asignada a los cuerpos negros de referencia (10 y 50 °C) del AHS.

Para el caso de las bandas reflectivas del sensor (hasta los 2,5 μm) los niveles digitales originales se calibraron a radiancias mediante coeficientes de calibración obtenidos utilizando la "esfera integradora" de calibración USS 400 (<http://www.labsphere.com/>) cubierta con Spectralect. Para las bandas térmicas se aplicó una interpolación lineal utilizando el nivel digital registrado y la temperatura asignada a los cuerpos negros de referencia (10 y 50 °C) situados antes y después de cada línea escaneada.

Para convertir los valores de radiancia obtenidos en el sensor a valores de reflectividad del terreno, parámetro este indicativo del estado de los materiales y comparable con otras firmas espectrales procedentes de librerías, se utilizaron las medidas radiométricas realizadas en campo así como las tomadas en el laboratorio. Con este método se consiguieron dos objetivos en un solo paso, la transformación de radiancia en el sensor a reflectancia del terreno y la corrección de la distorsión radiométrica producida por la atmósfera, al absorber y dispersar parte de la radiación que

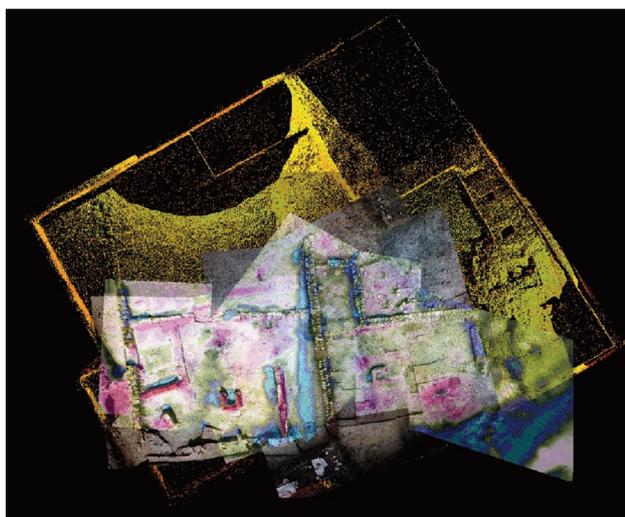


Fig. 4. Ejemplo de fichero multifuente empleado para el estudio del Área 4 del yacimiento de Segeda I (Mara, Zaragoza).

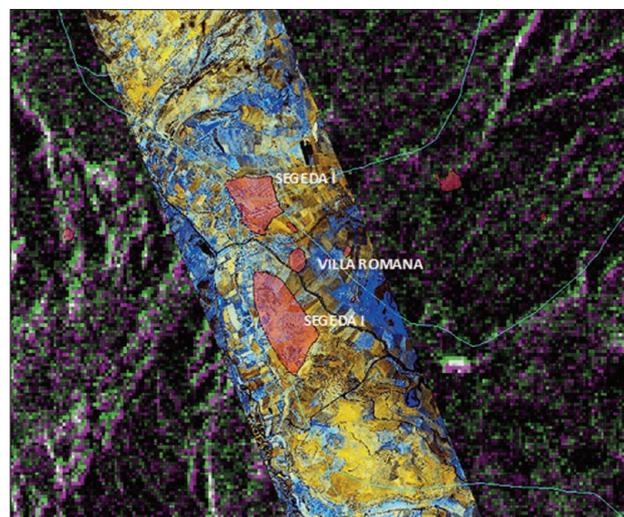


Fig. 5. Imagen multitemporal ASAR combinada con la imagen hiperespectral y los límites del área arqueológica de Segeda.

llega a la superficie. Para ello se aplicó al puerto 1 del AHS el algoritmo "Empirical Line" (Smith y Milton 1999) mediante firmas espectrales de superficies "brillantes" y "oscuras" dentro de la zona de estudio, adquiridas en la campaña de espectroradiometría de campo anteriormente descrita.

La segunda gran tarea que se abordó durante el preprocesado de los datos concernía a las necesarias correcciones geométricas y georreferenciación de las imágenes. Para el caso de la imagen hiperespectral se aplicó un método paramétrico de georreferenciación, conocido como *georreferenciación directa*, que a partir de datos de posición y orientación medidos por un sistema inercial GPS/IMU en el momento de adquisición de estas imágenes, permitirá corregir las distorsiones geométricas producidas por los movimientos de la plataforma y georreferenciar cada píxel de la imagen en un único proceso automático. También fue indispensable transformar los parámetros del resto de imágenes y datos auxiliares a una escala absoluta, tanto espacial como espectral, con el fin de que pudiéramos referir las medias extraídas de las imágenes a otras procedente de otros sensores o fuentes de información.

La última fase fue la fusión de estas imágenes con fotografías área mediante *Imgfuse* (Geomática), generándose una nueva subescena a 0.5 m de resolución espacial, manteniendo la información espectral original.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Análisis de datos térmicos: Anomalías térmicas y reducción de la dimensionalidad (PCA)

Para el análisis de datos térmicos se siguieron dos técnicas. En primer lugar se calcularon anomalías aplicando una combolución mediante un filtro de mediana, para posteriormente establecer un índice térmico (Rejas *et al.* 2006) basado en la separabilidad de clases que presentan los canales 74 y 80 del puerto térmico del AHS. La función diseñada se ha corregido en base a la relación de los parámetros de ganancia de ambos canales, resultando la siguiente expresión:

$$(\text{Conv}(\text{AHS74})-\text{Conv}(\text{AHS80})) / (\text{Conv}(\text{AHS74})+\text{Conv}(\text{AHS80})) * 0,24$$

Conv = image convolution

La búsqueda de estas anomalías térmicas se basa en la hipótesis conocida de que cuerpos enterrados pueden inducir una temperatura superficial diferente para un mismo material envolvente.

El resultado obtenido con esta técnica fue una imagen en la que se detectaban píxeles con respuestas anómalas térmicas con respecto al resto del territorio. El análisis de estas imágenes nos permitió localizar algunas de estas anomalías como sería el caso de una disposición circular concéntrica correspondiente a una estructura soterrada ubicada en la margen derecha de la rambla de Orera y sita entre los restos de ambas urbes (Fig. 6.3). En 2008 se confirmó mediante prospección arqueológica su correspondencia con un yacimiento de cronología romana altoimperial, correspondiente a una villa en la que existen restos de un área de producción cerámica. Del mismo modo, en el interior de los restos de la fase de *Segeda II*, se documentan rupturas y líneas que parecen indicar su correspondencia con estructuras soterradas internas (Fig. 6.2) o el caso del patrón geométrico de la Fig. 6.1, que la comprobación arqueológica demostró su correspondencia con una edificación agrícola de época moderna (s. XVII-XVIII).

Otra línea de trabajo que hemos seguido respecto a los canales térmicos ha sido la reducción de la dimensionalidad, mediante el Análisis de Componentes principales (PCA). El objetivo es obtener una nueva variable que exhiba el mayor contraste térmico, principalmente entre las longitudes de onda de 10,16 micrómetros y 12,89 micrómetros. Experiencias previas han mostrado resultados satisfactorios de PCA en datos hiperespectrales para arqueología (Traviglia 2006).

En nuestro caso, el PCA se focalizó para los canales térmicos del AHS fusionados con fotografía aérea. Los cuatro primeros PC permitieron detectar y extraer una alineación que presentaba en un punto de inflexión del terreno un giro brusco

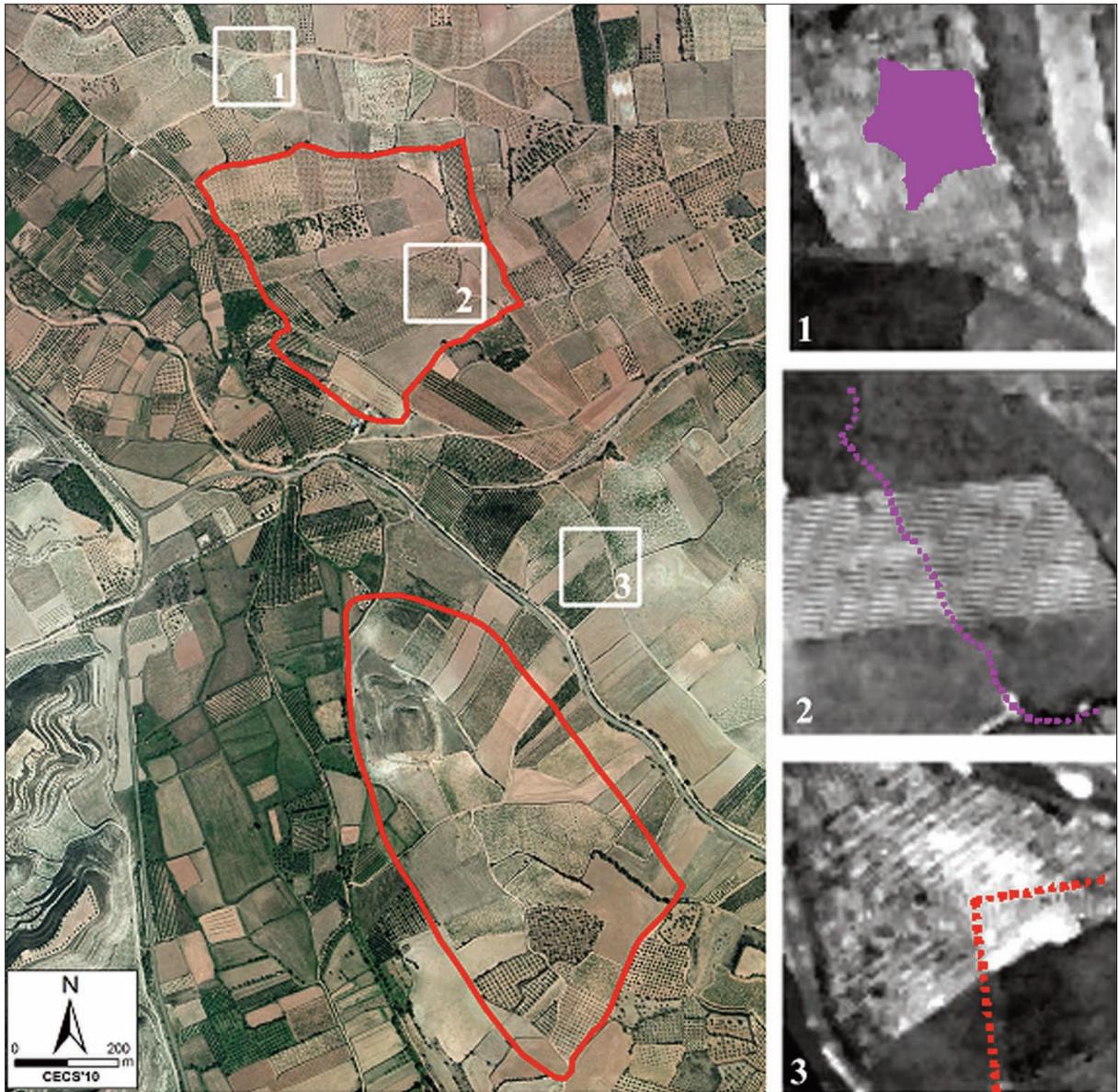


Fig. 6. Zonas caracterizadas por anomalías calculadas a partir de los canales térmicos del AHS.

en dirección SW, pudiéndose corresponder con algún tipo de estructura enterrada o muro de fortificación existente en la ciudad de *Segeda I* (Rejas *et al.* 2006). Su aplicación en los restos de la ciudad celtiberorromana de *Segeda II*, mostró como el Componente Principal 14 (CP14), en las áreas de mayor concentración de humedad se correspondía con el perímetro amurallado de la ciudad, o a estructuras internas que podrían corresponder a las calles principales de la ciudad romana. Este resultado fue relevante, ya que nos permitió detectar en las zonas del espectro electromagnético mencionado estructuras arqueológicas enterradas o semienterradas del área arqueológica de *Segeda*.

Interferometría SAR (InSAR). Cálculo de subsidencias del terreno

Otra de las líneas de investigación que se están explorando es la aplicación de interferometría SAR para el cálculo de subsidencia en el terreno. Se ha generado un par interferométrico a partir de las imágenes ASAR de 2004 y 2006, obteniéndose una baja coherencia, porque aunque las imágenes correspondían a la misma estación del año, en esos años no se daban las mismas condiciones de humedad, y por ello existía un distinto estado de las coberturas terrestres. Para solucionar este inconveniente se han adquirido nuevos

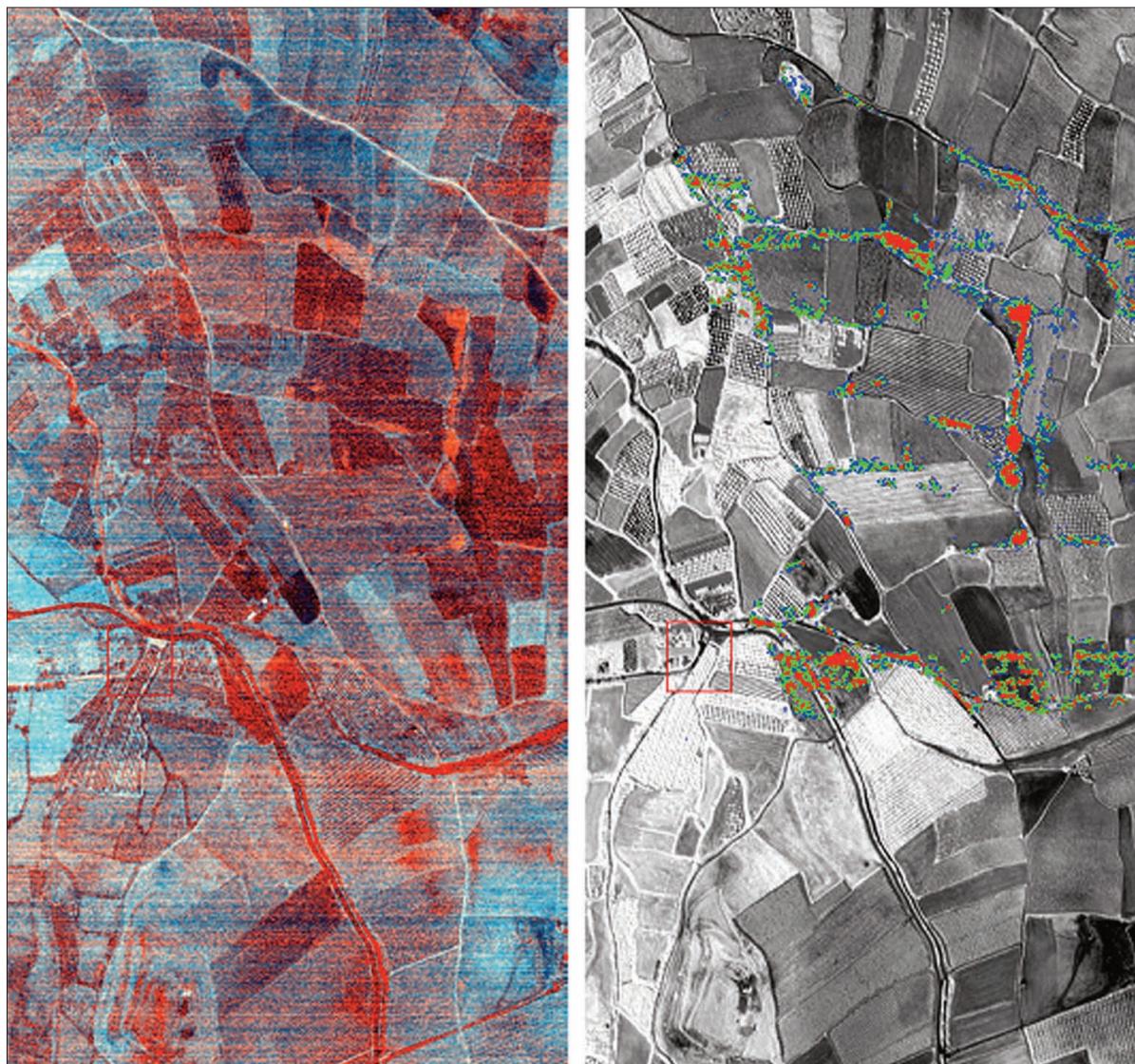


Fig. 7. Combinación de RGB PC14 más PC3 (izquierda) y canal AHS 8 con estructuras localizadas (derecha).

pares de imágenes ASAR comprendidos entre 2004 y 2006, que actualmente están siendo analizados e integrados en un SIG, junto con el resto de capas de información generadas y superpuestas a distintos yacimientos arqueológicos, con el objetivo de explorar las capacidades para su interconexión con estructuras o evidencias de actividad humanas como antiguos caminos, explotaciones mineras, etc. y que en la actualidad no sean visibles.

Aplicación de la técnica de Crosta. Estudio de materiales de alteración hidrotermal

Por último, otra de las líneas de experimentación para la aplicación de la teledetección en la

arqueología, es la aproximación a las posibles variables geológicas de la ciudad celtibérica de *Segeda* y su entorno de captación próximo. Para ello estamos aplicando la denominada Técnica de Crosta, que nos está permitiendo detectar materiales de alteración hidrotermal, en concreto, dos grandes grupos, materiales arcillosos y compuestos de óxidos de hierro.

La aplicación de esta técnicas se esta realizando sobre las imágenes ETM+ y en las imágenes hiperespectrales, destacando en ella agrupaciones de arcillas, que se podrían encontrar en relación con talleres de alfarería, y agrupaciones de óxidos de hierro, buscando en ello rupturas antrópicas que nos indiquen que han sido en el pasado objeto

de explotaciones metalúrgicas. La hipótesis de partida es la posibilidad de combinación de técnicas descritas, junto a la información de enclaves arqueológicos para intentar deducir si existe una relación de estos recursos humanos con posibles actividades antrópicas.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo ha buscado presentar una revisión crítica de las diversas aplicaciones de técnicas y metodologías de teledetección activa y pasiva que se están usando en la Zona Arqueológica de *Segeda* como área de Test de pruebas para la experimentación en el uso de estas nuevas herramientas.

Tras cinco años de trabajos podemos afirmar que los datos hiperespectrales y térmicos multiespectrales aportados por estos sensores poseen un gran potencial para la determinación de parámetros que indiquen, en condiciones favorables, la localización de estructuras arqueológicas. En este caso, el Análisis de Componentes Principales (PCA) que se realizó permitió corroborar alineamientos y anomalías indicativos de posibles restos arqueológicos. La integración de estos resultados permitió establecer relaciones entre puntos de inflexión del terreno y variabilidad térmica, que combinados con nuevos análisis (Técnica de Costra) permitirán localizar evidencias de actividades económicas en el entorno de los yacimientos.

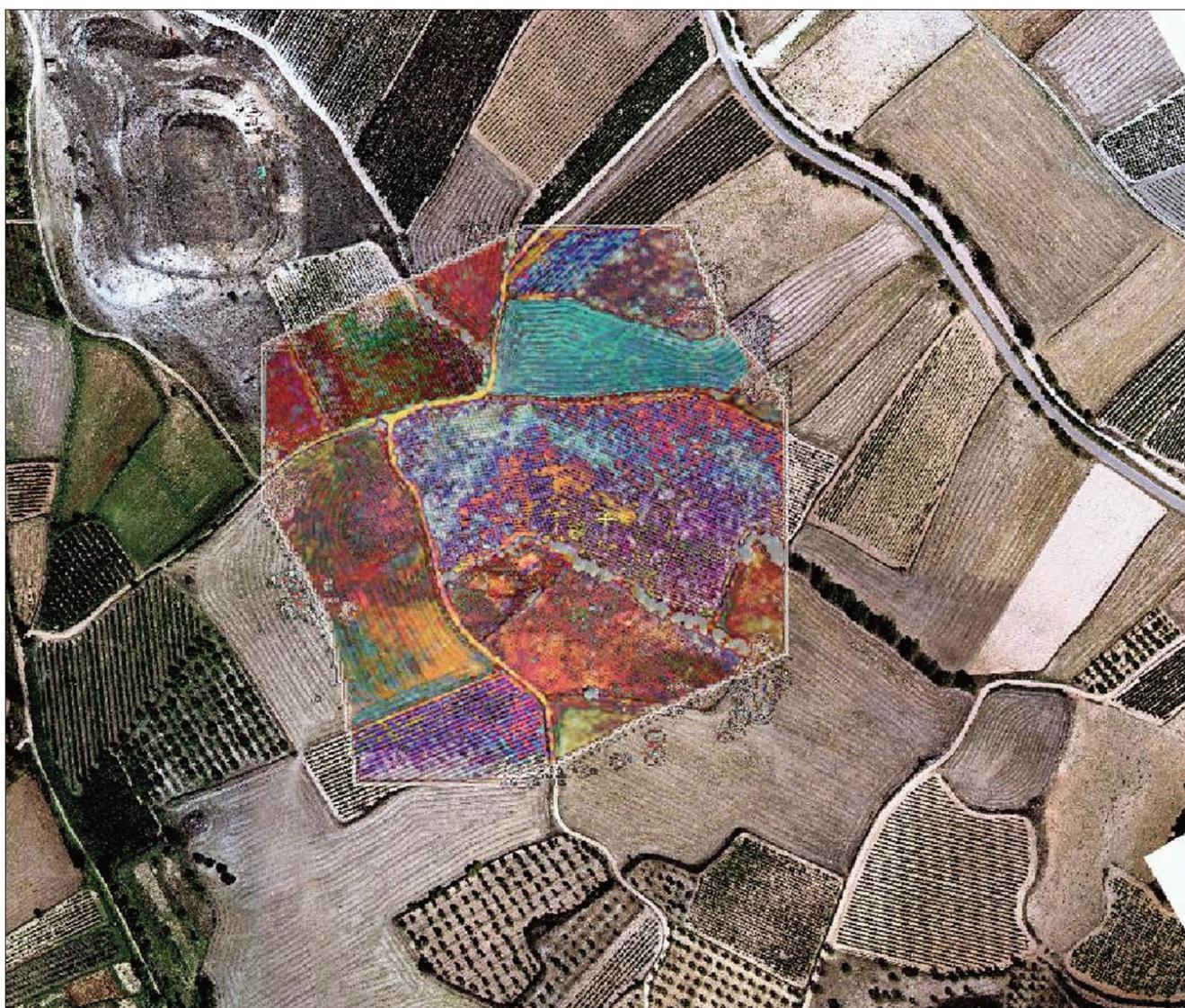


Fig. 8. Combinación de color rgb PC4, PC3 y PC2 superpuesta a ortofoto aérea, en la que se observa una estructura en codo.

El análisis de la validez para el cálculo de subsidencias mediante interferometría, han dado resultado negativo. Esto fue debido a la baja coherencia entre las imágenes ASAR, lo que ha imposibilitando su aplicación. Sin embargo, creemos que este tipo de datos tendrán un importante potencial puesto que complementarían el estudio en la región de las microondas.

Por último, la actual integración de estos datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) nos está permitiendo analizar espacialmente amplias regiones del territorio en conjunción con otros datos del terreno, lo que está permitiendo generar modelos de predicción para la localización de estas anomalías o subsidencias que nos pre-

sentarían nuevos emplazamientos arqueológicos. Por tanto la conjunción de los trabajos multifuente, multiescala, multitemporal y multidisciplinario nos está posibilitando obtener mejores resultados para el acometido propuesto, y lo que es más importante, validarlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Área de Teledetección del INTA por facilitar los datos térmicos e hiperespectrales necesarios para realizar este trabajo.

Este trabajo se desarrolla dentro del proyecto I+D: HAR2008-04118, financiado por el MEC y los FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- BELVEDERE, O.; BURGIO, A.; CIRAOLO, G.; LA LOGGIA, G. & MALTESE 2001: "Hyperspectral MIVIS data analyses for archaeological applications". *Fifth International Airborne Remote Sensing conference and Exhibition*, San Francisco, 17-20 Sept. 2001.
- BURILLO MOZOTA, F. 2001-2002: "Indicadores cronológicos para la datación del nivel de destrucción de *Segeda I*", *Kalathos* 20-21: 215-238
- BURILLO MOZOTA, F. 2006: "*Segeda* and Rome. The historical development of a Celtiberian city-state". En L. Abad; S. Ramallo & S. Keay (eds.), *Early Roman Town in Hispania Tarraconensis. Journal of Roman Archaeology*. Supplementary Series Number 62, Portsmouth Rhode Island: 159-170.
- EMMOLO, D.; FRANCO, V.; LO BRUTTO, M.; ORLANDO, P. & VILLA, B. 2004: "Hyperspectral Techniques and GIS for Archaeological Investigation". *Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress*, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey Commission 7.
- FARJAS, M.; REJAS, J.G.; GÓMEZ, J. A.; De MIGUEL, E. & FERNÁNDEZ[RENAU, A. 2003: "Airborne Multispectral Remote Sensing Application In Archaeological Areas". *CAA 2003, The E-way into the four Dimensions of Cultural Heritage*, Viena, Austria, April 2003.
- GOMIS, M. 2001: *Las acuñaciones de la ciudad celtibérica de Segeda/Sekaiza*, Teruel-Mara-Zaragoza.
- REJAS, J. G.; BURILLO, F.; LÓPEZ, R. y FARJAS, M. 2006: "Hyperspectral remote sensing application in the celtiberian city of *Segeda*". *From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Rome (Italy) 4-7 December 2006, BAR International Series 1568, BAR S1568 2006.
- SMITH, G.M. & MILTON, E. J. 1999: "The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance". *International Journal of Remote Sensing*, Taylor and Francis Ltd:2653-2662
- TRAVIGLIA, A. 2006: *MIVIS Hyperspectral Sensor for Detection of Subsoil Archaeological Sites and Interpretation Support GIS: an Italian Case Study*. CAA 2006, Fargo, ND-USA.
- WELLER, E. T. 2006: "Satellites, survey and settlement: the Late Classic Maya Utilization of Bajos (Seasonal Swamps) at Tikal and Yaxha, Guatemala". *From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Rome (Italy) 4-7 December 2006, BAR International Series 1568, BAR S1568 2006.

SESIÓN DATACIÓN



CORRECÇÃO DAS DATAS DE RADIOCARBONO DE CONCHAS MARINHAS PROVENIENTES DO ARQUIPÉLAGO DAS CANÁRIAS

RADIOCARBON DATING OF MARINE SHELL SAMPLES. THE MARINE RESERVOIR EFFECT IN CANARY ISLANDS COASTAL WATERS

António M. Monge Soares (1) / Alfredo Mederos Martín (2) / José M. Matos Martins (1)

(1) *Laboratório de Radiocarbono, Grupo de Química Analítica e Ambiental, Instituto Tecnológico e Nuclear*

(2) *Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid*

RESUMO: *A diferença de idades de ^{14}C entre amostras coevas provenientes de reservatórios geoquímicos diferentes, designadamente conchas marinhas associadas a ossos ou carvões de origem terrestre, recolhidas em contextos arqueológicos nas ilhas de Tenerife e Fuerteventura, apresenta um valor apreciável entre estas duas ilhas. O mesmo acontece no referente ao parâmetro ΔR , uma medida do efeito de reservatório oceânico. Assim, para a ilha de Fuerteventura o valor médio de ΔR é de $+150 \pm 40$ anos ^{14}C , enquanto que para a de Tenerife é de -10 ± 50 anos ^{14}C . Estes valores são consistentes com o sistema hidrodinâmico existente nas Canárias – as ilhas orientais (Fuerteventura e Lanzarote) são afectadas pelo upwelling com origem nas costas do noroeste africano, ao contrário do que acontece nas outras ilhas do arquipélago, nomeadamente na de Tenerife, onde o fenómeno de upwelling é de fraca intensidade ou praticamente inexistente.*

Para além do interesse deste estudo sobre o efeito de reservatório oceânico na região das Canárias, tendo por fim um melhor conhecimento da Paleoceanografia e Paleoclimatologia deste arquipélago, os arqueólogos podem, a partir de agora, construir cronologias mais precisas e fiáveis recorrendo à datação pelo radiocarbono de conchas marinhas recolhidas em contextos arqueológicos das Ilhas Canárias.

SUMMARY: *Differences in the ^{14}C ages of closely associated marine mollusk shells and terrestrial material (charcoal or bones) collected from archaeological contexts at Tenerife and Fuerteventura Islands show a significant variability between the two islands. For Fuerteventura Island ΔR takes a positive mean value of $+150 \pm 40$ ^{14}C yr, while for Tenerife Island a range of negative values was obtained resulting on a mean value of -10 ± 50 ^{14}C yr.*

Positive ΔR values can be correlated with an active upwelling, while negative ΔR values usually correspond to a non-existent upwelling. The ΔR values that have been obtained are consistent with the hydrodynamic system present off Canary Islands. The eastern islands (Fuerteventura and Lanzarote) are affected by the coastal upwelling regime prevailing over the north-western African continental shelf, conversely to what happens off the other islands of the archipelago, namely off Tenerife Island, where the upwelling effect does not prevail.

Besides the importance of this research for a better knowledge of the Palaeoceanography and Palaeoclimatology of the Canary region, archaeologists can from now on set up more accurate and reliable chronologies using radiocarbon dating of marine shell samples collected from Canarian archaeological contexts.

PALAVRAS-CHAVE: *Conchas Marinhas, datação por Radiocarbono, efeito de Reservatório Oceânico, upwelling, Arquipélago das Canárias.*

KEY WORDS: *Marine Shells, radiocarbon dating, marine radiocarbon reservoir effect, upwelling, Canary Islands*

I. INTRODUÇÃO

O estabelecimento de cronologias absolutas, tendo por base a datação pelo radiocarbono (^{14}C) de amostras de origem marinha, tem sido relegado para segundo plano comparado com a construção

das mesmas cronologias baseadas em amostras da biosfera terrestre, uma vez que a interpretação das datas obtidas através de amostras de origem marinha é, muitas vezes difícil, devido essencialmente ao desconhecimento das condicionantes hidrodinâmicas da região oceânica em causa.

Se a amostra a datar provem da biosfera terrestre, a sua radioactividade, relativamente ao ^{14}C , espelha a radioactividade da atmosfera contemporânea, a qual é convenientemente representada por uma determinada percentagem da actividade do padrão moderno (ácido oxálico N.B.S.) utilizado em datação pelo ^{14}C . Para amostras provenientes da biosfera marinha já não se pode utilizar aquela percentagem da actividade do padrão moderno, uma vez que os organismos marinhos se formam em equilíbrio com a água do mar, a qual é deficiente em ^{14}C quando comparada com a atmosfera. Essa deficiência em ^{14}C deste reservatório geoquímico do carbono está relacionada com o denominado efeito de reservatório oceânico (ou marinho), o qual varia de região para região. É, por conseguinte, necessário quantificar previamente esse efeito para a região oceânica de onde provém a amostra a datar, a fim de se interpretar correctamente o resultado (data) a obter.

Dada essa deficiência em ^{14}C , qualquer organismo que viva no reservatório oceânico terá uma idade aparente de radiocarbono (R). R é definido como a diferença entre a data convencional de radiocarbono da amostra marinha e a data convencional de uma amostra da biosfera terrestre contemporânea da primeira (Stuiver *et al.* 1986). Esta definição tem implícito que a idade aparente R é passível de ter variado ao longo do tempo (em vez de R deverá usar-se R(t), uma vez que é função do tempo), devido à variabilidade temporal do teor em ^{14}C da atmosfera e, eventualmente, também a modificações ocorridas ao longo do tempo nos parâmetros físicos dos reservatórios oceânico e atmosférico, que influenciaram a taxa de transferência de ^{14}C da atmosfera para aquele reservatório e vice-versa.

Stuiver *et al.* (1986) fizeram uso de um modelo para caracterizarem e quantificarem o sistema de transferência de carbono entre o oceano e a atmosfera e, dado que há variabilidade das condições oceânicas de região para região do globo, variabilidade essa que não é tomada em conta pelo modelo, então haverá que calcular, para a região em estudo, um parâmetro, que denominaram de ΔR , que traduza essa variabilidade. Se se admitir, em primeira aproximação, que a resposta a uma

modificação do sinal atmosférico na região oceânica considerada é paralela à resposta do oceano como um todo, então esse parâmetro ΔR , ao contrário de R(t), será considerado como uma constante (Stuiver *et al.* 1986: 982).

O parâmetro ΔR poderá ser calculado a partir da datação de um par de amostras coevas – da biosfera terrestre e da biosfera marinha – independentemente da sua cronologia: a data convencional de radiocarbono da amostra da biosfera terrestre é convertida, através do modelo, numa data da biosfera marinha, a qual subtraída da data convencional de radiocarbono determinada com a outra amostra constituinte do par (da biosfera marinha) dará o valor de ΔR (Stuiver e Braziunas 1993). O valor de ΔR será, portanto, para uma determinada região oceânica, uma medida do efeito de reservatório ou, por outras palavras, um índice da deficiência em ^{14}C da fracção do reservatório oceânico considerado.

Sublinhe-se que o modelo usado para o sistema de transferência de carbono entre reservatórios e que conduziu ao conceito e cálculo de ΔR utiliza apenas parâmetros de transferência independentes do tempo, pelo que isso implica que se assumam que as condições oceanográficas, nomeadamente na região em causa, não variaram ao longo do tempo de um modo diferente das do oceano considerado como um todo (Stuiver *et al.* 1986). Este postulado pode e tem sido testado comparando valores de ΔR obtidos a partir de pares de amostras colhidas em depósitos geológicos ou, mais vulgarmente, em contextos arqueológicos de diferente cronologia. O trabalho que um de nós tem vindo a desenvolver no Laboratório de Radiocarbono do ITN sobre o efeito de reservatório oceânico na orla costeira oeste-ibérica (Soares 1989, 1993; Soares e Dias 2006a, 2006b, 2007) pôs, pela primeira vez, em causa que, durante o Holocénico, a constância de ΔR seja aplicável para qualquer região, como se julgava.

Um dos fenómenos hidrodinâmicos que contribui para essa variabilidade do ΔR ao longo do tempo é o upwelling costeiro. A existência de upwelling traduz-se numa menor actividade específica do ^{14}C nas regiões afectadas pelo fenómeno,



Fig. 1. Localização do Arquipélago das Canárias no Atlântico Norte.

uma vez que as águas de profundidade que afloram á superfície são mais deficientes em ^{14}C do que as águas de superfície em que este fenómeno não ocorre e, por conseguinte, essa menor actividade específica reflectir-se-á nos organismos marinhos que habitam nessas águas. Dado que quaisquer variações das condições oceanográficas, que originam um enriquecimento ou empobrecimento em ^{14}C nas massas de água envolvidas, ficam registadas nas conchas dos moluscos que viveram nessas águas, o teor em ^{14}C das conchas marinhas constitui um indicador directo (“proxy”) da presença ou ausência de upwelling e da sua intensidade (Diftenbaugh *et al.* 2003). Assim, valores francamente positivos de ΔR estão relacionados com a existência de um upwelling activo, enquanto que valores de ΔR negativos ou próximos de zero estão normalmente associados a um upwelling de fraca intensidade ou reveladores da sua inexistência.

O estudo que agora se apresenta constitui uma primeira abordagem a esta problemática no Arquipélago das Canárias, onde algumas das ilhas, dada a sua proximidade da costa africana, são influenciadas pelo fenómeno do upwelling costeiro. O Arquipélago das Canárias (Figura 1), constituído por sete ilhas principais de origem vulcânica, encontra-se localizado a noroeste do Cabo Bojador, junto á costa africana, mais concretamente entre as longitudes 13°-19° W e as latitudes 27°-30° N.

O sistema hidrodinâmico do Arquipélago das Canárias apresenta uma vasta complexidade de factores que contribuem para a criação de condições oceanográficas singulares nesta região do Atlântico Norte. A corrente oceânica dominante é a Corrente das Canárias (Figura 2), sendo esta considerada como a extensão oriental da Corrente dos Açores. A Corrente das Canárias aproxima-se da margem oriental do Atlântico Norte e vira para sul devido ao efeito conjugado dos ventos alísios e da plataforma continental africana, constituindo, por conseguinte, a fronteira este do anticiclone subtropical do Atlântico Norte (Machín *et al.* 2006). O

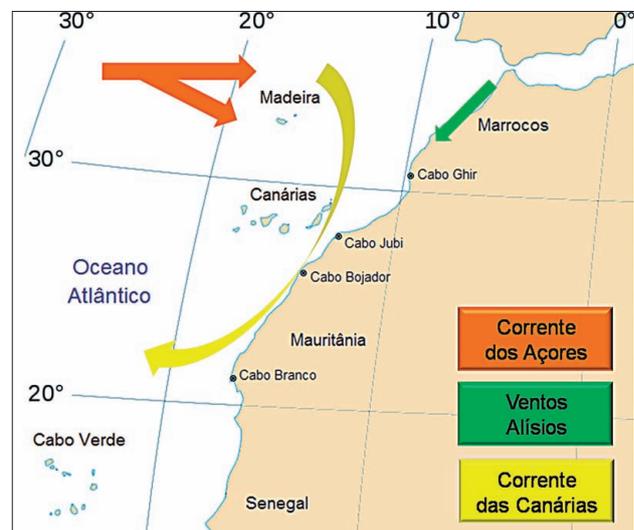


Fig. 2. Principais condicionantes do sistema hidrodinâmico presente no Arquipélago das Canárias.

limite sul da Corrente das Canárias está associado ao sistema frontal de Cabo Verde e coincide com um filamento de upwelling costeiro presente na zona do Cabo Branco. Nesta região, a Corrente toma o sentido oeste para se transformar na Corrente Equatorial Norte.

A Corrente das Canárias, apresenta uma zona de influência de aproximadamente 200 km de largura paralelamente à costa noroeste africana (Pelegrí *et al.* 2005). O upwelling costeiro gerado pelos ventos alísios, que ocorrem nesta região, estende-se desde o Cabo Branco até ao Arquipélago das Canárias e com, menor intensidade, até próximo do Estreito de Gibraltar. Encontra-se, assim, estreitamente associado à Corrente das Canárias. O fenómeno apresenta variabilidade sazonal, ou seja, durante o verão o upwelling é intenso, diminuindo de intensidade no inverno. A zona localizada entre o cabo Ghir e o Cabo Branco apresenta-se como a zona de upwelling de maior intensidade (Pelegrí *et al.* 2006).

De assinalar também a presença de filamentos costeiros de upwelling, gerados pela variação batimétrica associada às correntes oceânicas existentes na região, os quais criam zonas de upwelling difusas e de intensidade variável, nomeadamente nas áreas do Cabo Jubi, do Cabo Bojador e do Cabo Branco. Estes filamentos podem atingir vários quilómetros de comprimento e apresentam, normalmente, a direcção oeste.

Da conjugação destes factores hidrodinâmicos resultam, segundo Barton *et al.* (1998), quatro zonas distintas no que concerne à intensidade e distribuição espacial do upwelling no Arquipélago das Canárias (Figura 3).

Observa-se, assim, que as ilhas orientais do arquipélago, Fuerteventura e Lanzarote se encontram na zona 1, a qual sofre a influência do upwelling costeiro do noroeste africano, e que as restantes ilhas do arquipélago se situam essencialmente na zona 2, em que a influência do upwelling é muito fraca ou inexistente.

Neste trabalho dataram-se pares de amostras provenientes de contextos arqueológicos exis-

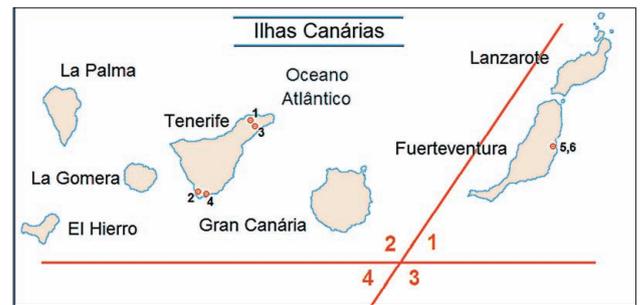


Fig. 3. Zonas de transição do upwelling no Arquipélago das Canárias, segundo Barton *et al.* (1998): (1) afectada pelo upwelling costeiro existente na costa NW de África; (2) não afectada pelo upwelling, regime oceânico aberto; (3) afectada pelo upwelling proveniente de África, mas sendo essa afectação condicionada pelo sistema de circulação inter-ilhas com o sentido norte-sul; (4) upwelling ausente. Assinala-se, também, a localização dos sítios arqueológicos datados: 1 – Los Cabezazos; 2 – Palm-Mar; 3 – Higuera Cota; 4 – Rasca; 5, 6 – Rosita del Vicario.

tentes em duas ilhas, Fuerteventura e Tenerife, representativas das duas situações atrás referidas.

II. METODOLOGÍA

Amostragem

Foram utilizados pares de amostras estreitamente associadas (conchas marinhas/ossos ou madeira carbonizada de origem terrestre) colhidas em sítios arqueológicos das ilhas de Tenerife e Fuerteventura. Os locais de amostragem encontram-se assinalados na Fig. 3. Considera-se, a partir da evidência arqueológica de campo, que a deposição das amostras de cada par foi simultânea, ou seja, que a altura da morte dos organismos de ambos os reservatórios, terrestre e marinho, presentes em cada par de amostras, foi a mesma.

Para a selecção dos pares representativos a datar foram consideradas amostras provenientes de depósitos arqueológicos que evidenciassem ausência de indícios de perturbação ou remobilização.

Parte Experimental

As amostras foram inicialmente sujeitas a uma rigorosa limpeza mecânica de todos os elementos estranhos à amostra.

Para as amostras de ossos (apenas com um

conteúdo em N superior a 1%), foi efectuada a extracção de colagéneo de acordo com método descrito por Longin (1970).

Relativamente às amostras de madeira carbonizada, estas foram sujeitas a um processo de digestão ácido/base/ácido a fim de eliminar eventuais contaminantes.

No caso das amostras de origem marinha, foram apenas utilizadas conchas da mesma espécie, sem evidências de contaminação superficial e que se encontrassem inteiras sem qualquer sinal de transporte. Foi eliminado 30% do peso inicial da amostra γ a fracção externa, mais sujeita a contaminação γ através de uma digestão ácida controlada (0,5M HCl a 25° C). Em algumas das amostras analisadas, quando a sua quantidade era >50 g após a descontaminação, recorreu-se a uma hidrólise controlada para separar a amostra em duas com volumes semelhantes de CO₂, sendo estas representativas da fracção intermédia e da fracção interna das conchas constituintes da amostra inicial, as quais foram datadas.

A medição do conteúdo em ¹⁴C das amostras foi efectuada através da Espectrometria de Cintilação Líquida, cuja técnica se encontra descrita detalhadamente em Soares (1989, 2005).

O valor de enriquecimento isotópico em ¹³C ($\delta^{13}\text{C}$) foi determinado para o CO₂ produzido na fase inicial da síntese de benzeno. As datas convencionais de ¹⁴C foram calculadas de acordo com as definições recomendadas por Stuiver e Polach (1977).

Cálculo de ΔR , R(t) e Calibração das Datas Convencionais

O cálculo de ΔR para cada par de amostras (marinha/terrestre) foi efectuada recorrendo à metodologia proposta por Stuiver e Braziunas (1993) e Reimer *et al.* (2002). Assim, a data convencional de radiocarbono da amostra da biosfera terrestre foi convertida numa data da biosfera marinha recorrendo para tal à curva de calibração terrestre (IntCal04 - Reimer *et al.* 2004)

e a partir do valor determinado a “idade marinha modelada” fazendo uso da curva de calibração marinha (Marine04 - Hughen *et al.* 2004). A diferença entre a idade convencional da amostra marinha do par e a “idade marinha modelada” corresponde ao valor de ΔR para esse par de amostras (Stuiver e Braziunas 1993).

O valor de R(t), ou seja da idade de reservatório, foi obtido através da diferença entre as datas convencionais de radiocarbono das amostras da biosfera marinha e da biosfera terrestre constituintes do par datado (Stuiver *et al.* 1986).

As datas convencionais de radiocarbono das amostras provenientes da biosfera terrestre foram, por seu lado, convertidas em anos do calendário solar fazendo uso da curva de calibração IntCal04 (Reimer *et al.* 2004).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As datas convencionais de ¹⁴C dos pares de amostras e os valores correspondentes de ΔR e de R(t) encontram-se na Tabela 1.

Da análise de resultados é possível observar valores de desvio padrão relativamente altos. Estes valores podem ser explicados, neste caso, pela secção da curva de calibração terrestre utilizada na obtenção de ΔR , a qual apresenta um comportamento bastante “ondulado” para esta gama de idades.

Na Tabela 2, para além dos valores de ΔR e de R(t) encontram-se ainda as datas convencionais de radiocarbono das amostras da biosfera terrestre convertidas em datas de calendário solar - calibração efectuada recorrendo ao programa CALIB rev 5.0.1 (Stuiver e Reimer 1993) e à curva de calibração IntCal04 (Reimer *et al.* 2004).

O cálculo dos valores médios ponderados de ΔR , quer no caso das amostras provenientes de Tenerife, quer de Fuerteventura, é validado pelo facto de os valores obtidos de ΔR preencherem o requisito estatístico de a diferença entre um qualquer valor de ΔR e o valor médio ponderado do conjunto de ΔR s ser menor que duas vezes o desvio

Referência Laboratório	Descrição da Amostra Marinha	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Data ^{14}C (anos BP)	Referência Laboratório	Descrição da Amostra Terrestre	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Data ^{14}C (anos BP)
Tenerife							
1* - Los Cabezazos							
Sac-2225	<i>Patella sp.</i>	2.10	1260 ± 60	Sac-2257	Ossos (Colagéneo)	-20.86	950 ± 50
$\Delta\text{R} = -75 \pm 85 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 310 \pm 80 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			
2* - Palm-Mar							
Sac-2253**	<i>Patella sp.</i>	2.40	890 ± 35				
Sac-2254	<i>Patella sp.</i>	2.93	980 ± 40	Sac-2259	Ossos (Colagéneo)	-19.26	520 ± 35
$\Delta\text{R} = 40 \pm 50 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 460 \pm 50 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			
3* - Higuera Cota							
Sac-2251	<i>Patella sp.</i>	3.76	640 ± 60	Sac-2262	Madeira Carbonizada	-24.30	200 ± 80
$\Delta\text{R} = 60 \pm 130 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 440 \pm 100 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			
4* - Rasca							
Sac-2249**	<i>Patella sp.</i>	1.46	370 ± 40				
Sac-2250	<i>Patella sp.</i>	2.55	400 ± 40	Sac-2258	Madeira Carbonizada	-22.90	140 ± 50
$\Delta\text{R} = -150 \pm 100 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 260 \pm 65 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			
Fuerteventura							
5* - Rosita 1							
Sac-2415**	<i>Patella sp.</i>	4.10	1170 ± 35				
Sac-2250	<i>Patella sp.</i>	3.22	1090 ± 30	Sac-2389	Madeira Carbonizada	-18.63	520 ± 35
$\Delta\text{R} = 150 \pm 45 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 570 \pm 45 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			
6* - Rosita 2							
Sac-2413**	<i>Patella sp.</i>	2.65	1020 ± 35				
Sac-2414	<i>Patella sp.</i>	2.91	970 ± 35	Sac-2388	Ossos (Colagéneo)	-19.31	400 ± 40
$\Delta\text{R} = 160 \pm 100 \text{ anos } ^{14}\text{C}$				$\text{R}(\text{t}) = 570 \pm 50 \text{ anos } ^{14}\text{C}$			

Tabela 1. Datação por ^{14}C de pares de amostras coevas (conchas de origem marinha / ossos ou madeira carbonizada) provenientes das Ilhas de Tenerife e Fuerteventura.

* Ver Figura 3

** Fracção intermédia (não foi considerada no cálculo de ΔR)

padrão combinado (Harkness 1983). O mesmo critério estatístico foi aplicado no cálculo dos valores médios ponderados de $\text{R}(\text{t})$. Para os valores de ΔR da ilha de Tenerife foi tomado para valor do desvio padrão o resultante da dispersão dos valores determinados, em virtude de ser maior que o calculado para o desvio padrão ponderado (Law 1975; Stuiver *et al.* 1986).

No conjunto de valores obtidos observam-se valores fracamente positivos de ΔR , os quais estarão relacionados com a existência de um upwelling activo, enquanto que os valores negativos ou próximos de zero estarão associados a um upwelling de fraca intensidade ou inexistente.

Na projecção no tempo dos valores de ΔR

Localização	Referência Laboratório	Data ¹⁴ C (anos BP)	cal BP (2σ)	cal AD (2σ)	ΔR (anos ¹⁴ C)	R(t) (anos ¹⁴ C)
Tenerife						
Los Cabezaos	Sac-2257	950 ± 50	740 - 950	1000 - 1210	-75 ± 85	310 ± 80
Palm-Mar	Sac-2259	520 ± 35	510 - 630	1320 - 1450	40 ± 50	460 ± 50
Higuera Cota	Sac-2262	200 ± 80	0 - 430	1520 - 1950	60 ± 130	440 ± 100
Rasca	Sac-2258	140 ± 50	0 - 280	1670 - 1950	-150 ± 100	260 ± 65
Média Ponderada					-10 ± 50*	380 ± 50*
Fuerteventura						
Rosita 1	Sac-2389	520 ± 35	510 - 630	1320 - 1450	150 ± 45	570 ± 45
Rosita 2	Sac-2388	400 ± 40	320 - 520	1430 - 1630	160 ± 100	570 ± 50
Média Ponderada					150 ± 40	570 ± 35

Tabela 2. Valores de ΔR e de R(t) determinados para as Ilhas de Tenerife e Fuerteventura.

* Desvio padrão da dispersão de valores

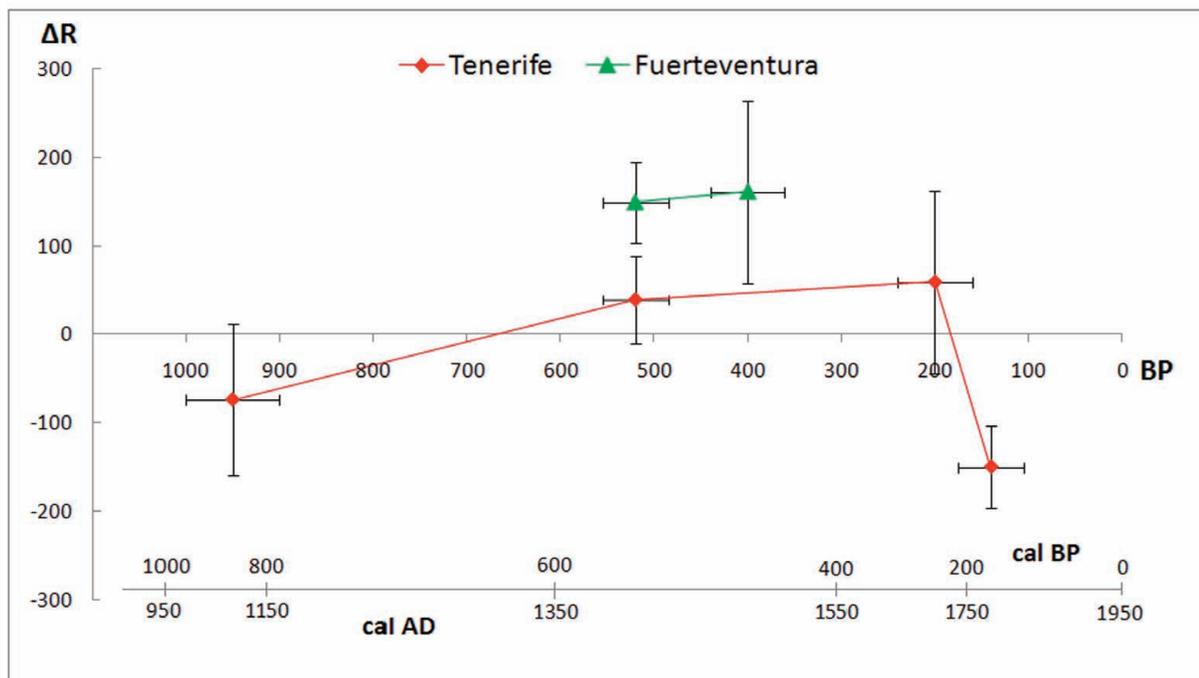


Fig. 4. Valores de ΔR para as Ilhas de Tenerife e Fuerteventura.

(Figura 4) pode observar-se a variabilidade do efeito de reservatório oceânico para aquelas duas ilhas pertencentes ao Arquipélago das Canárias.

Para ilha de Tenerife, os valores de ΔR variam entre -150 ± 100 e $+60 \pm 130$ anos ¹⁴C, obtendo-se um valor médio de -10 ± 50 anos ¹⁴C. Estes valores, que abrangem um horizonte temporal constituído pelos últimos mil anos, sugerem a presença de um

upwelling de fraca intensidade ou mesmo inexistente nesta ilha durante este período de tempo. Relativamente á Ilha de Fuerteventura o valor médio de ΔR é de $+150 \pm 40$ anos ¹⁴C, o que indica a existência de um upwelling intenso nesta região.

Os valores de ΔR obtidos são consistentes com o sistema hidrodinâmico presente actualmente no Arquipélago das Canárias, em que as

ilhas orientais, mais próximas da costa africana (Fuerteventura e Lanzarote), são afectadas pela presença do upwelling costeiro associado à Corrente das Canárias, contrariamente ao que acontece em Tenerife onde a presença de upwelling é fraca ou inexistente (Barton *et al.* 1998; Pelegrí *et al.* 2005, 2006; Machín *et al.* 2006). Por outro lado, os valores de ΔR determinados para as Canárias são comparáveis com os já obtidos para áreas costeiras próximas no noroeste africano, nomeadamente na Mauritânia, onde foi obtido um valor médio de ΔR de $+71 \pm 13$ anos ^{14}C , e no Senegal, onde se obteve um valor de $+176 \pm 15$ anos ^{14}C (Ndeye 2008).

V. CONCLUSÕES

Tendo em consideração os valores de ΔR obtidos, até agora, para o Arquipélago das Canárias, recomenda-se o uso do valor de ΔR de -10 ± 50 anos ^{14}C para amostras marinhas provenientes da ilha de Tenerife, e o valor de $+150 \pm 40$ anos ^{14}C para as da ilha de Fuerteventura, quando se calibrarem datas convencionais de radiocarbono determinadas a partir de conchas marinhas provenientes destas ilhas. Face ao sistema hidrodinâmico presente no Arquipélago, a extrapolação dos valores obtidos para as outras ilhas que constituem o arquipélago é

aceitável, isto é, para as ilhas orientais (Fuerteventura e Lanzarote) recomenda-se o uso de $\Delta R = +150 \pm 40$ anos ^{14}C e para as restantes ilhas deve ser utilizado um $\Delta R = -10 \pm 50$ anos ^{14}C .

Para além do interesse deste estudo para um maior conhecimento da Paleoceanografia e Paleoclimatologia do Arquipélago das Canárias, os arqueólogos podem, a partir de agora, construir cronologias precisas e fiáveis recorrendo a conchas marinhas colhidas em contextos arqueológicos das Canárias. No entanto, deverá notar-se que o número de amostras analisadas para este arquipélago é ainda relativamente pequeno, sendo necessário a continuação deste estudo, recorrendo para tal à datação de mais pares de amostras, quer das ilhas já amostradas, quer de outras ilhas do Arquipélago, a fim de aferir com maior acuidade a variação temporal e espacial do efeito de reservatório marinho nesta região oceânica.

AGRADECIMENTOS

J. Martins agradece a Bolsa de Investigação com a referência SFRH / BD / 45528 / 2008, financiada por fundos nacionais do MCTES, e atribuída pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

- BARTON, E.D.; ARÍSTEGUI, J.; TETT, P.; CANTON, M.; GARCIA-BRAUN, J.; HERNANDEZ-LEON, S.; NYKJAER, L.; ALMEIDA, C.; ALMUNIA, J.; BALLESTEROS, S.; BASTERRETXEA, G.; ESCANEZ, J.; GARCIA-WEILL, L.; HERNANDEZ-GUERRA, A.; LOPEZ-LAATZEN, F.; MOLINA, R.; MONTERO, M.F.; NAVARRO-PEREZ, E.; RODRIGUEZ, J.M.; VAN LENNING, K.; VELEZ, H. e WILD, K. 1998: "The transition zone of the Canary Current upwelling region". *Progress in Oceanography* 41: 455-504.
- DIFFENBAUGH, N.S.; SLOAN, L.C. e SNYDER, M.A. 2003: "Orbital suppression of wind-driven upwelling in the California Current at 6 ka". *Paleoceanography* 18 (2): 1051, doi: 10.1029/2002PA000865.
- HARKNESS, D.D. 1983: "The Extend of Natural ^{14}C deficiency in the coastal environment of the United Kingdom". *^{14}C and Archaeology*. Pact 8: 351-364.
- HUGHEN, K.A.; BAILLIE, M.G.; BARD, E.; BECK, J.W.; BERTRAND, C.J.H.; BLACKWELL, P.G.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; CUTLER, K.B.; DAMON, P.E.; EDWARDS, R.L.; FAIRBANKS, R.G.; FRIEDRICH, M.; GUILDERSON, T.P.; KROMER, B.; McCORMAC, G.; MANNING, S.; BRONK RAMSEY, C.; REIMER, P.J.; REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J. e WEYHENMEYER, C.E. 2004: "Marine04: marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP". *Radiocarbon* 46 (3): 1059-1086.
- LAW, R.G. 1975: "Radiocarbon Dates for Rangitoto and Motutapu, a consideration of the dating accuracy". *New Zealand Journal of Science* 18: 441-451
- LONGIN, R. 1970: "Extraction du collagene des os fossils pour leur datation par la methode du Carbone 14 ". [These 3e cycle]. Lyon. Faculté des Sciences de l'Université de Lyon.
- MACHÍN, F.; HERNÁNDEZ-GUERRA, A. e PELEGRÍ, J.L. 2006: "Mass fluxes in the Canary Basin". *Progress in Oceanography* 70 (2-4): 416-447.
- NDEYE, M. 2008: "Marine Reservoir Ages in Northern Senegal and Mauritania Coastal Waters". *Radiocarbon* 50 (2): 281-288.
- PELEGRÍ, J.L.; ARÍSTEGUI, J.; CANA, L.; GONZÁLEZ-DÁVILA, M.; HERNÁNDEZ-GUERRA, A.; HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; MARRERO-DÍAZ, A.; MONTERO, M.F.; SANGRÀ, P. e SANTANA-CASIANO, M. 2005: "Coupling between the open ocean and the coastal upwelling region off Northwest Africa: water recirculation and offshore pumping of organic matter". *Journal of Marine Systems* 54: 3-37.
- PELEGRÍ, J.L.; MARRERO-DÍAZ, A. e RATSIMANDRESY, A.W. 2006: "Nutrient irrigation of the North Atlantic". *Progress in Oceanography* 70 (2-4): 366-406.
- REIMER, P.J.; McCORMAC, G.; MOORE, J.; McCORMICK, F. e MURRAY, E.V. 2002: "Marine radiocarbon reservoir corrections for the mid- to late Holocene in the eastern subpolar North Atlantic". *The Holocene* 12 (2): 129-135.
- REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J.W.; BERTRAND, C.J.H.; BLACKWELL, P.G.; BUCK, C.E.; BURR, G.S.; CUTLER, K.B.; DAMON, P.E.; EDWARDS, R.L.; FAIRBANKS, R.; FRIEDRICH, M.; GUILDERSON, T.P.; HOGG, A.G.; HUGHEN, K.A.; KROMER, B.; McCORMAC, G.; MANNING, S.; RAMSEY, C.B.; REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J. e WEYHENMEYER, C. E. 2004: "IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 cal kyr BP". *Radiocarbon* 46 (3): 1029-1058.
- SOARES, A.M.M. 1989: *O Efeito de Reservatório Oceânico nas Águas Costeiras de Portugal Continental*. Sacavém: Instituto de Ciências e Engenharia Nucleares Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial.
- SOARES, A.M.M. 2005: "Variabilidade do "Upwelling" Costeiro durante o Holocénico nas Margens Atlânticas Ocidental e Meridional da Península Ibérica. [Tese de Doutorado]. Faro. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente. Universidade do Algarve.
- SOARES, A.M.M. e DIAS, J.M.A. 2006a: "Coastal upwelling and radiocarbon – evidence for temporal fluctuations in ocean reservoir effect off Portugal during the Holocene". *Radiocarbon* 48 (1): 45-60.
- 2006b: "Once upon a time... the Azores Front penetrated into the Gulf of Cadiz". *5^o Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (Livro de Resumos)*. Aveiro. Universidade de Aveiro: 205-206.
- SOARES, A.M.M. e DIAS, J.M.A. 2007: "Reservoir effect of coastal waters off western and northwestern Galicia". *Radiocarbon* 49 (2): 925-936.
- STUIVER, M. e BRAZIUMAS, T.F. 1993: "Modeling Atmospheric ^{14}C Influences and ^{14}C Ages of Marine Samples to 10,000 BC". *Radiocarbon* 35 (1): 137-189.
- STUIVER, M.; PEARSON, G.W. e BRAZIUMAS, T. 1986: "Radiocarbon Age Calibration of Marine Samples back to 9000 cal yr BP". *Radiocarbon* 28 (2B): 980-1021.
- STUIVER, M. e POLACH, H.A. 1997: "Discussion. Reporting of ^{14}C Data". *Radiocarbon* 19 (3): 355-363.
- STUIVER, M. e REIMER, P.J. 1993: "Extended ^{14}C Data Base and Revised CALIB 3.0 ^{14}C Age Calibration". *Radiocarbon* 35 (1): 215-230.

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS EN LA DATACIÓN POR LUMINISCENCIA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: EL CASO DE LOS MORTEROS

METHODOLOGICAL CONSIDERATIONS IN LUMINESCENCE DATING OF BUILDING MATERIALS: THE CASE OF THE MORTAR

Jorge Sanjurjo Sánchez (1) / Daniel Fernández Mosquera (1) / Maria Isabel Dias (2) / Christopher I. Burbidge (2) / Maria Isabel Prudêncio (2)

(1) Instituto Universitario de Xeoloxía, Universidade da Coruña

(2) Instituto Tecnológico e Nuclear

RESUMEN: La datación absoluta por luminiscencia permite obtener la edad de un objeto a partir del cociente existente entre la paleodosis o dosis de radiación acumulada en los minerales de ese material y la dosis de radiación anual. Mejoras recientes en la metodología, el desarrollo de la luminiscencia ópticamente estimulada OSL y la aplicación de herramientas estadísticas han permitido realizar las primeras dataciones de materiales aglomerantes de construcción (morteros). Aunque los primeros trabajos en este ámbito se centraban en las limitaciones encontradas en el cálculo de la paleodosis existen problemas también en la medición de la dosis anual. En este estudio los principales problemas encontrados están relacionados con el cálculo de la dosis anual. Los problemas relacionados con la paleodosis están relacionados con el uso del árido del mortero para la datación. Considerando la dosis anual, es útil construir modelos tridimensionales en los que se considera la dosis aportada por cada material de una estructura constructiva. En este trabajo se presentan las claves para que un mortero pueda ser datado y cuales son las limitaciones de este tipo de dataciones.

SUMMARY: Luminescence dating yields the age of an object from the ratio between paleodose or cumulative radiation dose in the minerals of that material and the annual dose rate. Recent improvements in methodology, the development of optically stimulated luminescence OSL in recent years and the application of statistical tools have resulted in the first dating of construction binder materials (mortars). Although early work in this area was focused on the constraints encountered in the paleodose calculation, problems related to the measurement of the annual dose also exist. In this study the main problems are related to the calculation of annual dose. The paleodose related problems are related to the use of the mortar sand for dating. Considering the annual dose, it is useful to construct a three-dimensional model that considers the dose provided by each material of a constructive structure. This paper presents the keys to consider a mortar sample to be dated and what are the limitations of this type of dating.

PALABRAS CLAVE: datación, morteros, patrimonio, luminiscencia, OSL.

KEY WORDS: dating, mortars, Heritage, luminescence, OSL.

I. INTRODUCCIÓN

Estudio y datación de morteros tradicionales

Uno de los temas de investigación a los que más recursos se ha destinado en arqueometría es el estudio de los morteros tradicionales en edificios históricos. Los morteros son el material de construcción más utilizado desde la antigüedad (los primeros ejemplos datan de unos 12 de Ka BP según Elert *et al.* 2002), y su estudio ha sido muy extenso en las últimas décadas. Los principales objetivos de

estos estudios han sido tres: conocer su composición original, es decir, las proporciones de árido, agregante y otros componentes en el mortero original; estudiar su deterioro o las variaciones químicas originadas en sus componentes a medida que progresa su deterioro, y conocer su edad.

La composición de los morteros es tremendamente variable, dependiendo de los materiales originales utilizados (árido y agregante) y el proceso de curado (o de carbonatación en el caso de los morteros de cal) que es controlado por la humedad relativa y la porosidad del mortero. Los

morteros mas frecuentemente usados en la antigüedad son los de cal y los de yeso. La datación de morteros es todavía un problema que está muy lejos de ser resuelto. El principal interés de la datación de los morteros se debe a varias razones. En primer lugar, existe una gran cantidad de edificios históricos cuya fecha de construcción es desconocida al haberse perdido o no existir documentación histórica referida a ello. Por otra parte, mientras que otros materiales de construcción (sillares de roca, ladrillos, tejas, etc.) pueden ser reutilizados, los morteros son fabricados in situ, durante la construcción de muros, paramentos y elementos constructivos. De hecho, nunca son ni pueden ser reutilizados, por lo que su datación proporcionaría la fecha de construcción de un edificio o de cualquier etapa de reconstrucción, modificación o ampliación del mismo.

Los intentos de datar morteros han sido, sin embargo infructuosos hasta la fecha. Excepcionalmente, se han conseguido datar en unos pocos casos aislados, aunque no se han desarrollado protocolos estándar de datación. Los procedimientos que han tenido algún éxito parcial son la datación absoluta por radiocarbono, la datación relativa por métodos geoquímicos y la datación absoluta por luminiscencia.

La posibilidad de datación por radiocarbono se basa en el que la calcita (CaCO_3) del agregante se produce debido a la reacción del hidróxido de cálcico (Ca(OH)_2) del agregante con el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, durante el proceso de curado del mortero. Debido a esto, en los morteros de cal, el ^{14}C de la calcita del agregante permite calcular, a priori, la edad del mismo mediante los procedimientos estándar de datación. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, existen una serie de problemas que impiden la datación. En primer lugar, la preparación del hidróxido de calcio se realiza por pulverización y cocción del carbonato cálcico, que siempre es incompleta, sobre todo en hornos antiguos. Debido a esto, el agregante presenta un contenido en fragmentos de calcita procedentes de roca caliza, cuyo ^{14}C es "antiguo", por lo que la datación del agregante proporcionará edades excesivamente antiguas. Además de este problema existen otros que dificultan la obtención de edades fiables. En pri-

mer lugar, el lento proceso de curado (carbonatación) de los morteros en edificios históricos suele comprender períodos de tiempo de incluso décadas según Elert *et al.* 2002, lo que incrementa el error en la datación. Además, su elevada solubilidad hace que la re-cristalización de carbonato cálcico tras su disolución por agua (ya que los morteros son sistemas que canalizan la evaporación de humedad) pueden llevar a obtener edades excesivamente recientes (Heinemeier *et al.* 1997).

La datación por métodos geoquímicos se basa en la comparación de la composición elemental de diferentes morteros de un mismo edificio, cuando se conoce la edad de una parte de las etapas de construcción. Por ello, es un método de datación relativa, que únicamente proporciona una estimación relativa de edades de una serie de morteros correlacionados. Este método se basa en el hecho de que el catión calcio de la estructura de calcita puede ser parcialmente sustituido por otros elementos como Mg, Fe^{2+} , Sr, Rb y Ba (Vendrell-Saz *et al.* 1996), en función del medio. Como resultado, la concentración relativa de estos elementos en la piedra caliza original se refleja en los productos de endurecimiento del mortero. Así, si dos morteros han sido obtenidos a partir de rocas calizas con diferentes características geoquímicas, debería ser posible distinguirlos de acuerdo a la concentración de elementos minoritarios (Vendrell-Saz *et al.* 1996). La limitada aplicación de esta técnica permite su uso sólo en los casos en que la documentación histórica sobre la edad de un edificio está disponible, y la cronología obtenida es sólo relativa.

Datación por luminiscencia de morteros

Uno de los métodos de datación absoluta más extendidos para objetos arqueológicos no orgánicos, incluidos los materiales de construcción, es la datación por luminiscencia. Si bien la datación de algunos materiales de construcción antiguos ya se viene realizando por métodos clásicos de datación por luminiscencia (Termoluminiscencia), por ejemplo en ladrillos, nuevos procedimientos de datación y recientes mejoras metodológicas han permitido obtener resultados más exactos (con menor desviación estándar). Por

otra parte, otros avances metodológicos han permitido obtener las primeras dataciones por luminiscencia de materiales considerados antes como “no datables”, como los morteros (Zacharias *et al.* 2002). Sin embargo, la datación de morteros presenta diversos problemas metodológicos que se deben considerar y delimitar antes de proceder a datar una muestra de mortero.

La datación por luminiscencia 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 Paleodosi y la Dosis anual (Aitken 1985):

$$\text{Edad} = \frac{\text{Paleodosi (Gy)}}{\text{Dosis anual (Gy / año)}}$$

La Paleodosi es la dosis acumulada en el material a datar. Se mide en un lector de luminiscencia, dónde se produce la excitación de los electrones acumulados en los defectos electrónicos de la red cristalina de los minerales con la subsiguiente emisión de luz. 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. 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.

Para que la datación sea exacta, es imprescindible que el mineral haya perdido la señal acumulada (señal geológica residual) antes de incorporarse al objeto que se está datando. Eso

puede suceder mediante el calentamiento de la pieza arqueológica a datar (por ejemplo cocción de una cerámica) o por la exposición a la luz de los minerales datados (por ejemplo en sedimentos), por lo que la señal susceptible de ser acumulada se liberará también mediante calentamiento (Termoluminiscencia) o la estimulación óptica (OSL), respectivamente. Los laboratorios del Instituto Universitario de Xeología de la Universidad de A Coruña (España) y el Instituto Tecnológico e Nuclear (Sacavém, Portugal) están trabajando desde hace unos años en el perfeccionamiento y aplicación de nuevos protocolos de datación por luminiscencia a materiales aglomerantes tradicionales (morteros, encalados y enlucidos) en edificios del Patrimonio Histórico.

II. METODOLOGÍA

Medida y cálculo de la paleodosi: problemas metodológicos

Se pueden considerar dos premisas básicas a la hora de considerar una muestra arqueológica o geológica como “datable”. La primera de ellas es que la señal geológica residual que puedan tener los minerales a datar haya sido completamente eliminada por exposición a la luz o calor. De hecho, si la eliminación de esa señal es parcial tendremos una mezcla de minerales que acumulan la señal arqueológica con minerales que acumulan una suma de la señal arqueológica mas la geológica residual. Esto resultará en paleodosi excesivamente grandes y edades excesivamente antiguas. La segunda es que una vez eliminada la señal geológica residual, los minerales que comienzan a acumular la paleodosi (por exposición a la radiación ambiental) estén protegidos de cualquier exposición a la luz o al calor.

La señal de luminiscencia medida a partir de granos de cuarzo se considera el método más adecuado para obtener paleodosi fiables. En el caso de la arena de morteros, una vez incorporadas en el mortero los granos de cuarzo están suficientemente protegidos de la luz por lo que la paleodosi arqueológica se acumula (Goedicke 2003). Aunque la arena de la mayor parte de morteros contiene

un importante porcentaje de cuarzo (frecuentemente entre el 5 y 50%), los morteros no han sido considerados adecuados para la datación debido a que se consideraba que existía una elevada posibilidad de sobrestimación de edad como consecuencia de una eliminación incompleta de la señal geológica residual. Sin embargo, algunos estudios acerca de la eliminación de esta señal geológica residual en la arena de morteros (Boetter-Jensen *et al.* 2000) revelaron que puede ser completamente eliminada durante los procedimientos de fabricación de morteros, por lo que los morteros suelen ser utilizados como dosímetros.

Además, según algunos autores (Goedicke 2003) los métodos manuales de preparación de fabricación se han mantenido prácticamente constantes durante la historia, de manera que el proceso de eliminación de la señal geológica en la arena durante su extracción, transporte y fabricación es completo, hasta que la misma queda cubierta por el agregante. Incluso en el caso de que el transporte de arena fuese realizado a granel, los granos de capas profundas de los recipientes de transporte son expuestos a la luz, debido a la elevada transparencia de la arena según otros autores (Ollerhead 2001).

Otra cuestión a favor de la consideración de los morteros como susceptibles de ser datados es los importantes avances metodológicos logrados en la última década en OSL. Los métodos clásicos de cálculo de la paleodosis permitían obtener la misma a partir de un conjunto de sub-muestras conocidos como alícuotas (10-30). Éstos métodos son conocidos como métodos aditivos o de alícuota múltiple (AD, Additive Methods). Sin embargo, en la última década se han desarrollado una serie de métodos de alícuota simple que permiten obtener una paleodosis individual para cada alícuota y compararlas. Existe incluso la posibilidad de obtener paleodosis individuales para cada grano mineral. El principal de éstos métodos es el conocido como SAR (Single Aliquot Regeneration) propuesto por Murray y Wintle (2000). A partir del SAR se han desarrollado una serie de métodos de diferente naturaleza que permiten comprobar si la señal luminiscente geológica o residual ha sido o no completamente eliminada.

A partir del SAR, los avances en el conocimiento de la señal de OSL y de la eliminación de la señal OSL geológica residual han sido espectaculares. En los procedimientos de datación por estimulación óptica (OSL), la señal se deriva de un número de granos que forman cada alícuota. En los procedimientos clásicos, se consideraba que una alícuota típica debe contener unos 5 mg de material, esto equivale a 1000 granos de cuarzo cuando se utiliza un tamaño de grano de 150 micras. En estudios con alícuotas simples se ha podido comprobar, sin embargo, que la señal OSL deriva de un porcentaje pequeño de granos (10-15%) (Murray *et al.* 1997). De esta forma se han desarrollado procedimientos estadísticos para evaluar la eliminación parcial o total de la dosis residual a partir de la distribución de alícuotas, obteniendo paleodosis a partir de alícuotas constituidas por pocos granos (Wallinga 2002) o incluso a partir de granos individuales (single grain dating, Murray *et al.*, 1997). Distribuciones de la paleodosis de alícuotas muy simétricas son indicativas de una eliminación homogénea de la señal, aunque no necesariamente significa que la señal de OSL geológica residual haya sido eliminada completamente antes del fraguado del mortero (Figura 1). Otros autores han propuesto, en años recientes métodos para calcular la influencia de la dosis residual en la paleodosis calculada a través de modelos estadísticos (Bailey y Arnold 2006), por medio de representaciones gráficas (Galbraith *et al.*, 1999), examinando las curvas de OSL (Bailey 2003) o comparando la intensidad de las señales

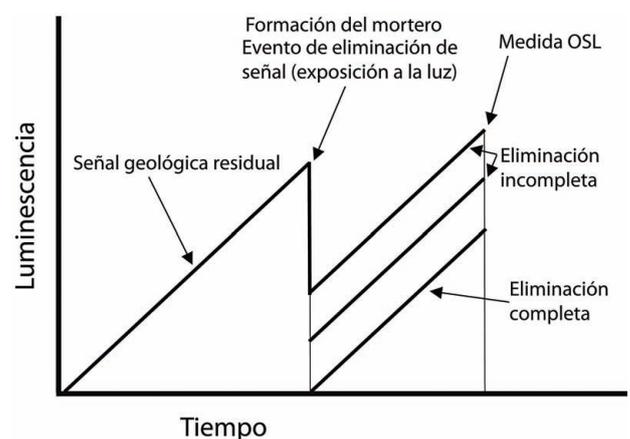


Fig. 1. Eliminación completa e incompleta de la señal geológica residual en arena de morteros.

OSL con las paleodosis calculadas (Li *et al.* 1994; Clarke 1996; Clarke *et al.* 1999; Colls *et al.* 2001). Algunos de estos métodos proporcionan información muy importante a la hora de obtener la paleodosis del cuarzo extraído de la arena de morteros, y permiten establecer, con una certeza relativamente grande, si una paleodosis se ve afectada o no por alguna señal residual.

Además de estos métodos, se han desarrollado enormemente, modelos de cálculo de la paleodosis para los métodos de alícuota simple. Algunos de estos modelos permiten el cálculo de la paleodosis incluso en los casos en los que se detecta una contribución importante de la señal geológica residual a esa paleodosis (Galbraith *et al.* 1999; Bailey y Arnold 2006). Estos avances, determinan que, en la mayor parte de los casos, se puedan datar morteros a partir de la arena, siempre y cuando contengan cuarzo.

Cálculo de la dosis anual: problemas metodológicos

Como ya se ha mencionado, la Dosis anual es la dosis que recibe el mineral por unidad de tiempo. Se mide en el entorno inmediato del mismo y depende de la concentración en U, Th y K en la muestra y su entorno. Existen diversos métodos para calcular la concentración en U, Th y K en materiales de construcción, como el Análisis por Activación de Neutrones (AAN), la Espectrometría in situ o en laboratorio, Absorción atómica (solamente permite calcular la concentración de K), Espectrometría de masas con fuente de Plasma Acoplado (ICP-MS) o los Dosímetros TL (TLD). A partir de ellos se calcula la dosis anual que es a su vez la suma de:

$$\text{Dosis anual} = \text{Dosis alfa} + \text{Dosis beta} + \text{Dosis gamma} + \text{Dosis cósmica}$$

De todas estas dosis, la dosis cósmica se obtiene a través de su modelización, calculando la proporción de rayos cósmicos que recibe un muestra una vez considerada su latitud, altitud, profundidad y densidad del material en el que está incluida. En el caso de morteros procedentes de edificios, esta dosis cósmica puede ser relativamente importante si la muestra procede de la parte alta de un edificio o despreciable si se encuentra en una zona interior, baja o un sótano.

La dosis alfa generalmente no se considera en la suma cuando el mineral usado es el cuarzo (c.f. Burbidge *et al.* 2009). Esto se debe a que la penetración en los minerales de las partículas alfa es mínima (unas pocas micras). Dado que los tratamientos químicos que permiten obtener cuarzo purificado incluyen un tratamiento con HF con el objetivo de eliminar la capa externa de mineral se elimina la dosis alfa, y se corrige la beta para la capa de mineral eliminada. Las partículas beta, tienen una penetración mayor (de varias micras), por lo que su dosis se calcula a partir de la concentración en U, Th y K del material datado. La dosis gamma implica, sin embargo, conocer también la concentración en U, Th y K del material que rodea al mortero datado (ladrillos o sillares de roca), ya que la penetración de la radiación gamma es mucho mayor que la de las dos anteriores, alcanzando aproximadamente unos 50 cm.

El cálculo de las dosis beta y gamma implica considerar una serie de cuestiones metodológicas que pueden incidir en el cálculo de la dosis total, y en la precisión en el cálculo de la misma. Por una parte, el cálculo de la dosis beta requiere tener en cuenta que los morteros son materiales heterogéneos, formados por un material agregante y un árido. De estos, el árido suele ser mas radiactivo, sobre todo si se trata de arena rica en feldespatos o arcillas, mientras que el agregante es normalmente poco radiactivo cuando se trata de carbonato cálcico o yeso. Por ello, cuando el mortero presenta una variabilidad importante en la relación árido/agregante habrá variaciones importantes en la microdosimetría beta, lo que incidirá en que el error calculado para la dosis beta será mayor. Otras causas de la variabilidad en la dosis beta tienen menor importancia. Una de ellas es que el ^{238}U es muy soluble, por lo que puede ser fácilmente lixiviado en el agregante, cuando la humedad en un edificio es importante. Al ser eliminado el ^{238}U , disminuirá ligeramente la dosis beta, lo que repercutirá en la precisión del cálculo de la dosis beta. Este problema es despreciable en muestras de morteros que no sean muy antiguos y solo debe considerarse para morteros de varios milenios de antigüedad. Otras fuentes de variación de la dosis beta, con el tiempo pueden derivar del deterioro del mortero por sulfatación, con la que suele producirse una de-

posición de elementos contaminantes en el mismo, y particularmente de ^{210}Pb , lo que incrementa la dosis beta, sobre todo en zonas superficiales de los morteros. La vida media del ^{210}Pb es relativamente breve (22,6 años), por lo que este problema solamente afectará a la datación de morteros muy recientes, de pocas décadas de antigüedad.

El cálculo de la dosis gamma, dado que requiere conocer la dosis de radiación en un volumen esférico de unos 50 cm alrededor de la muestra, se puede realizar por 3 vías:

-Mediante espectrometría gamma medida in situ: se realiza midiendo la dosis gamma en el punto de muestreo con un espectrómetro gamma portátil. Proporciona información acerca de la concentración en U, Th y K, aunque no de la lixiviación de ^{238}U en los materiales.

-Mediante dosimetría TL: se sitúan en el punto muestreado un dosímetro durante un período de tiempo determinado (de días o meses, ex. Burbridge y Duller, 2003). Los dosímetros son cápsulas que contienen un mineral que tienen una elevada sensibilidad a la radiación y acumulan una paleodosis que luego se mide en laboratorio por luminiscencia, lo que permite calcular la dosis de radiación recibida por unidad de tiempo, y así obtener la dosis gamma anual.

-Mediante la modelización de la dosis gamma: se utiliza para calcular la dosis gamma en medios heterogéneos. Se obtiene la concentración de U, Th y K en el mortero y en los materiales adyacentes (ladrillo o sillería), y se calcula la proporción en volumen que ocupa cada material en el volumen ocupado por una esfera de unos 50 cm de radio. Esta modelización es sencilla en el caso de muros o paramentos compuestos de un tipo de ladrillo o sillar de roca y mortero. Sin embargo, es más complejo cuando el elemento constructivo a datar está constituido por más materiales, existen molduras o se trata de partes más complejas (como esquinas, por ejemplo) ya que ello complica la modelización, y por lo tanto el error en el cálculo de la dosis gamma es mayor.

Uno de los problemas que pueden considerarse en el cálculo de la dosis gamma deriva de

cualquier modificación realizada en los muros o en el sistema constructivo de un edificio en el pasado. Si la estructura de un muro en el entorno inmediato del punto en donde se ha tomado una muestra no ha sido modificada durante la historia del edificio, la dosis gamma habrá sido constante. Sin embargo, si en el entorno del punto de muestreo se han reparado, añadido, reconstruido o modificado elementos estructurales (reposición de morteros o nuevos paramentos) la dosis gamma habrá variado con el tiempo, por lo que la dosis gamma medida será parcialmente errónea. Este hecho no limita la posibilidad de datar una muestra, pero si disminuye la precisión en la edad calculada, por lo que debe ser considerada.

En algunos casos, puede haberse producido alguna migración de radionúclidos, al igual que se mencionaba en el caso de la dosis beta en el caso de la lixiviación del ^{238}U , en alguno de los materiales adyacentes al mortero. En este caso, la introducción de un mayor error es posible, aunque este será despreciable si los morteros no son excesivamente antiguos.

III. PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LA DATACIÓN DE MORTEROS

Limitaciones de la datación de morteros por luminiscencia

Como se ha señalado en el apartado anterior y considerando la dosis anual, aunque existen factores que pueden limitar la precisión de la datación por luminiscencia no existen casos a priori que la impidan. En referencia al cálculo de la paleodosis, aunque también existen factores que pueden limitar la precisión de su cálculo, existen a priori algunas limitaciones. Dado que el componente de los morteros usado para su datación por luminiscencia es el árido, un requisito importante es que este sea arena. Cuando el árido es arena, se requiere que su proporción sea lo mayor posible. Si la relación árido/agregante es muy baja, se requerirá una muestra abundante, lo cual no siempre es posible cuando se trabaja en edificios que son parte del Patrimonio Histórico. En el caso de obtener arena en una cantidad suficiente a partir de una muestra, dado que el mineral preferentemente utilizado

para la OSL es el cuarzo, es necesario que su proporción sea lo suficientemente importante como para proporcionar la cantidad de cuarzo puro mínima necesaria (al menos unos 100-150 gr). Si no existe cuarzo suficiente en la muestra existen dos alternativas. La primera de ellas consiste en utilizar granos de feldespato y medir su señal IRSL (estimada por luz infrarroja) para obtener la paleodosis. El uso de feldespatos presenta mayores dificultades metodológicas, al ser su señal inestable con respecto al tiempo. Esta inestabilidad se debe a que su señal se reduce logarítmicamente con respecto al tiempo cuando dejan de recibir dosis de radiación, lo que se conoce como “anomalous fading” (Aitken 1998). Esta inestabilidad repercute en el cálculo de la paleodosis e implica obtener paleodosis inferiores a las reales, lo que se corrige modelizando el “fading”. La paleodosis obtenida a partir de los feldespatos proporciona un mayor error que la obtenida por medio del cuarzo. Además, impide datar la arena del mortero cuando la señal residual no ha sido bien eliminada (existen mayores dificultades a la hora de aplicar modelos estadísticos del cálculo de paleodosis cuando la eliminación de la señal residual no ha sido completa).

La segunda alternativa para obtener la paleodosis cuando la cantidad de cuarzo obtenida no es suficiente consiste en aplicar un protocolo mixto de OSL e IRSL, llamado Post-IR OSL (Roberts y Wintle 2001). Este consiste en estimular mezclas de granos de cuarzo y feldespato primero con IRSL para eliminar la señal procedente de los feldespatos, y después con OSL para obtener la señal del cuarzo, aunque parte de esta señal se verá afectada por la señal del feldespato (que también emite señal al estimular con OSL) por lo que se verá afectada también por “anomalous fading”. Esto implica corregir nuevamente el “fading”, y por tanto un error mayor que el obtenido a partir del cuarzo.

Existen algunos casos en los cuales el árido del mortero no es arena, sino otros componentes como fragmentos de cerámica, o fragmentos de roca. Si se trata de fragmentos de cerámica, es previsible que la paleodosis de los mismos corresponda a la señal luminiscente acumulada desde el momento de cocción de la cerámica original, por lo que no será susceptible de ser usada para datar el mortero. Cuando el árido está compuesto por fragmentos de roca, su

uso para la datación dependerá de dos factores: el tipo de roca y el tamaño de los fragmentos. Si el tipo de roca utilizado es un yeso o roca caliza su uso para la datación del mortero no será posible ya que, la señal de los minerales corresponderá al momento de su cristalización en la roca. Cuando se trata de rocas ácidas (graníticas, areniscas, etc.) la posibilidad de que pueda ser usado para la datación del mortero dependerá de su contenido en cuarzo y de su fragmentación. En el caso de que exista cuarzo abundante y la roca esté bien fragmentada en pedazos pequeños, la posibilidad de usar los minerales de cuarzo en la datación será elevada, ya que es probable que su exposición a la luz haya sido suficiente para borrar la señal geológica residual.

Uso del agregante en la datación de morteros

La datación por luminiscencia permite la datación de objetos al obtenerse la paleodosis acumulada en redes cristalinas minerales. En el caso de morteros no solo el árido está formado o contiene cristales minerales, estos también se encuentran en el agregante. Básicamente, existen tres tipos de agregantes en los morteros tradicionales (excluyendo los morteros de cemento Pórtland): arcillas, calcita (normalmente mezclado con hidróxido de calcio o portlandita) y yeso. Todos ellos son, a priori susceptibles de ser usados para la datación por luminiscencia. En el caso de las arcillas, su uso depende de que hayan sido expuestas a la luz, al igual que ocurre con la arena, ya que su cristalización es anterior al proceso de producción del mortero. En el caso de la calcita y el yeso, ambos cristalizan durante el fraguado del mortero, por lo que ese es el momento en el cual comienzan a acumular la paleodosis. A priori, serían por tanto un mineral ideal para ser usado en la datación. Tanto la calcita como el yeso han sido usados como dosímetros de radiación ambiental, y su señal TL es conocida. Sin embargo, existen dos problemas. El primero de ellos es que ambos minerales muestran “anomalous fading” (Visocekas 1979). El segundo está relacionado con el proceso de producción del agregante en la preparación del mortero.

El principal problema del uso de calcita en la datación es similar al encontrado en la datación por radiocarbono. Como ya se ha mencionado, en los

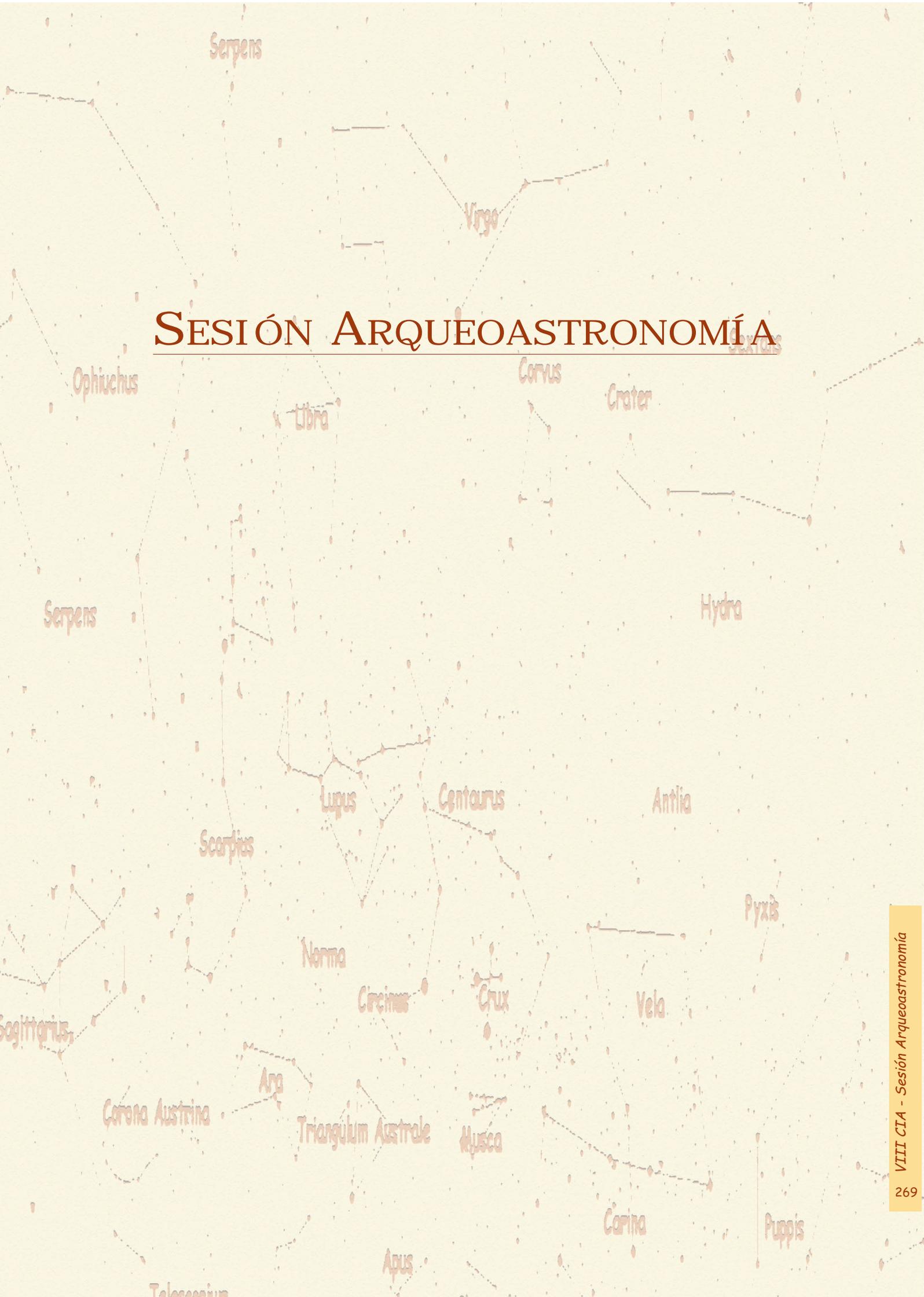
morteros de calcita esta procede de la combinación de hidróxido de calcio con el dióxido de carbono atmosférico. Sin embargo, el hidróxido de cálcico se obtiene de la calcinación de roca caliza machacada. Esta calcinación es casi siempre incompleta, por lo que la paleodosis obtenida será la suma de la paleodosis geológica residual de los fragmentos de calcita no calcinados y de la calcita formada durante el fraguado del mortero. De un modo similar, el sul-

fato de calcio de los morteros de yeso procedo de la calcinación de yeso machacado, calcinación que suele ser incompleta. Además, en ambos casos, el agregante es soluble por lo que cualquier proceso de disolución y recristalización del mismo a lo largo de la historia del monumento a datar implicaría una mezcla heterogénea de paleodosis correspondientes al mortero original y a la parte del mortero que ha sufrido esos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- AITKEN, M.J. 1985: *Thermoluminescence dating*. Academic Press, London.
- AITKEN, M.J. 1998: *An Introduction to Optical Dating*. Oxford University Press, Oxford.
- BAILEY, R.M. 2003: "Paper I: The use of measurement-time dependent single-aliquot equivalent-dose estimates from Quartz in the identification of incomplete signal resetting". *Radiation Measurements* 37: 673-683.
- BAILEY, R.M. y ARNOLD, L.J. 2006: "Statistical modelling of single grain quartz D distributions and an assessment of procedures for estimating burial dose". *Quaternary Science Reviews* 25: 2475-2502.
- BOETTER-JENSEN L.; SOLONGO S.; MURRAY AS.; BANERJEE D. y JUNGNER H. 2000: "Using the OSL single-aliquot regenerative-dose protocol with quartz extracted from building materials in retrospective dosimetry". *Radiation Measurements* 32: 841-845.
- BURBIDGE, C.I.; DIAS, M.I.; PRUDÊNCIO, M.I.; REBÊLO, L.P.; CARDOSO, G.O. y BRITO, P. 2009: "Internal α activity: localisation, compositional associations and effects on OSL signals in quartz approaching β saturation". *Radiation Measurements* 44: 494-500.
- BURBIDGE, C.I. y DULLER, G.A.T. 2003: "Combined gamma and beta dosimetry, using Al₂O₃:C, for in situ measurements on a sequence of archaeological deposits". *Radiation Measurements* 37: 285-291.
- CLARKE, M.L. 1996: "IRSL dating of sands: bleaching characteristics at deposition inferred from the use of single aliquots". *Radiation Measurements* 27: 611-620.
- CLARKE, M.L.; RENDELL, H.M. y WINTLE, A.G. 1999: "Quality assurance in luminescence dating". *Geomorphology* 29: 173-185.
- COLLS, A.E.; STOKES, S.; BLUM, M.D. y STRAFFIN, E. 2001: "Age limits on the late quaternary evolution of the upper Loire River". *Quaternary Science Reviews* 20: 743-750.
- ELERT, K.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; SEBASTIAN PARDO, E.; HANSEN, E. y CAZALLA, O. 2002: "Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings". *Studies in Conservation* 47: 62-75.
- GALBRAITH, R.F.; ROBERTS ,R.G.; LASLETT, G.M.; YOSHIDA, H. y OLLEY, J.M. 1999: "Optical dating of single grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia. Part I: experimental design and statistical models". *Archaeometry* 41: 339-364.
- GOEDICKE, C. 2003: "Dating historical calcite mortar by blue OSL: results from known age samples". *Radiation Measurements* 37: 409-415.
- HEINEMEIER, J.; JUNGNER, H.; LINDROOS, A.; RINGBOM, A.; VON KONOW, T. y RUD, N. 1997: "AMS 14C dating of lime mortar.". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 123: 487-495.
- LI, S.H. 1994: "Optical dating: insufficiently bleached sediments". *Radiation Measurements* 23: 563-567.
- MURRAY, A.S.; ROBERTS, R.G. y WINTLE, A.G. 1997: "Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz". *Radiation Measurements* 27: 171-184.
- 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.
- OLLERHEAD, J. 2001: "Light transmittance through dry, sieved sand: some test results". *Ancient TL* 19: 13-16.
- ROBERTS, H.M. y WINTLE, A. 2001: "Equivalent dose determinations for polymineralic fine-grains using the SAR protocol: application to a Holocene sequence of Chinese Loess Plateau". *Quaternary Science Reviews* 20(5-9): 859-863.
- VENDRELL-SAZ, M.; ALARCON, S.; MOLERA, J. y GARCÍA-VALLÉS, M. 1996: "Dating ancient lime mortars by geochemical and mineralogical analysis". *Archaeometry* 38: 143-149.
- VISOCEKAS, R. 1979: "Miscellaneous aspects of artificial TL of calcite: emission spectra, athermal detrapping and anomalous fading". *PACT* 3: 258-265.
- WALLINGA, J. 2002: "Detection of OSL age overestimation using single-aliquot techniques". *Geochronometria* 21: 17-26.
- ZACHARIAS, N.; MAUZ, B. y MICHAEL, C.T. 2002: "Luminescence quartz dating of lime mortars. A first research approach". *Radiation Protection Dosimetry* 101: 379-382.

SESIÓN ARQUEOASTRONOMÍA



LA METODOLOGÍA EN LOS ESTUDIOS ARQUEOASTRONÓMICOS

METHODOLOGY IN ARCHAEOASTRONOMICAL STUDIES

Javier Mejuto González (1) / César Rodríguez (2)

(1) Dpto. de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Facultad Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid

(2) Sección departamental de Astronomía y Geodesia, Facultad Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN: *A pesar del auge que han experimentado los estudios arqueoastronómicos en los últimos años, la disciplina adolece de una metodología propia. No es difícil observar una gran diversidad metodológica, probablemente debida a la heterogeneidad de los profesionales que se dedican a esta nueva rama científica. Creemos que es importante realizar un esfuerzo conjunto a fin de consensuar una metodología propia que ayude a afrontar con éxito los problemas de la disciplina.*

El objetivo del presente trabajo, por lo tanto, es un intento de unificar la metodología de trabajo en este tipo de estudios. Para ello, presentamos una breve síntesis de las metodologías seguidas actualmente. Se muestra, a continuación, la metodología seguida por nuestro grupo de investigación. La misma se basa, a su vez, en las usadas en disciplinas que se encuentran en fuerte relación con la Arqueoastronomía, como son la Geodesia y la Topografía. No nos dejaremos llevar por la conveniencia de estas metodologías, ya consolidadas, sino que solamente las usaremos como primer escalón hacia una metodología propia.

Para terminar, se acompaña la explicación metodológica de un ejemplo práctico en los que se ha aplicado con éxito, correspondientes a yacimientos de la Edad del Hierro.

SUMMARY: *Although the rise of archaeological studies had experimented in last years, the discipline suffers from the lack of an own methodology. It is not difficult to see a quite big methodological diversity, probably because the heterogeneity of the professionals those work in this brand new scientific branch. We believe that is important to make a joint effort in order to set an own methodology that helps to face successfully the discipline's problems.*

The aim of this work is try to unify the work methodologies existing in these types of studies. To do this, we present a short summary of methodologies been carried till now. Following, we present the methodology that our research group follows. It is based in scientific disciplines related to Archaeoastronomy, like Geodesy and Topography. Anyway, we cannot take for the convenience of these methodologies, already tested, but we use them as the first step towards an own methodology.

To end, the methodological explanation is enclosed with a practical example where methodology has been applied successfully, corresponding to Iron Age archaeological sites.

PALABRAS CLAVE: *Arqueoastronomía, metodología, Edad del Hierro.*

KEY WORDS: *Archaeoastronomy, methodology, Iron Age.*

I. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la Arqueoastronomía viene siendo llevada a cabo por especialistas en diferentes disciplinas. Esto, añadido al hecho de que es una ciencia realmente joven, ha provocado un desorden metodológico y conceptual que ha ido bebiendo de las fuentes de otras disciplinas científicas fuertemente consolidadas. Reflejo de ello, es la variedad de definiciones de Arqueoastronomía que podemos encontrar en la bibliografía (Belmonte 2000: 14, Esteban 2003: 309, Cerdeño et al. 2006: 14). Pero para entender la situación actual de esta rama científica es necesario —como en tantas ocasiones— hacer un breve repaso a sus inicios.

II. HISTORIA DE LA DISCIPLINA

Un trabajo historiográfico minucioso debería contener a la Arqueoastronomía americana pero en estas líneas nos centraremos únicamente en el continente europeo y, en particular, las Islas Británicas y la Península Ibérica. Con este espíritu podemos decir que los primeros pasos se dieron motivados por el interés que suscitaba la orientación intencionada de monumentos megalíticos, estos primeros trabajos fueron realizados en el siglo XVIII por el arquitecto John Wood (Wood 1747) y el anticuario William Stukeley (Stukeley 1740) fijándose en los yacimientos de Stonehenge,

Callanish, Castle Rigg y Sarsen Circle. Así comienzan dos tendencias que se prolongarán ampliamente en el tiempo. La primera de estas tendencias es la preponderancia del interés por los yacimientos megalíticos frente a lugares arqueológicos de otras épocas, hecho que se da hasta nuestros días (Figura 1). El segundo punto importante es el dominio británico en estos estudios que se ha mantenido hasta fechas recientes.

Tras los estudios de Wood y Stukeley hubo que esperar hasta el siguiente siglo para que se diera el siguiente hito en la disciplina. Este hecho fue la recopilación —realizada por el anticuario A.L. Lewis— de los yacimientos con posible interpretación astronómica, utilizada y ampliada posteriormente por el capitán de la marina británica H.B. Sommerville y Joseph Norman Lockyer (Lockyer 1909).

El ingeniero Alexander Thom fue el personaje que se considera padre de la Arqueoastronomía moderna. Son vitales en la bibliografía sus publicaciones en el año 1954 “The solar observatories of Megalithic Man” y 1967 “Megalithic sites in Britain” (Thom 1954; 1967). Sus aportaciones principales son relativas a la aplicación de las técnicas topográficas y las ciencias matemáticas a las mediciones que realizó en los diferentes yacimientos. También en su trabajo cabe señalar que aunque trabajó en los yacimientos tradicionalmente estudiados —como el resto de autores— no basó su investigación en dichos lugares, aunque por otro lado siguió con la moda megalítica como único referente.

Con Thom se llega a la década de los 80 del siglo XX, momento en que aparecen los primeros trabajos en España, con más de cien años de retraso respecto a otros países. La “implantación” de la Arqueoastronomía en España viene de la mano de investigadores ingleses como Michael Hoskin que buscaban yacimientos interpretables astronómicamente fuera de las fronteras inglesas. Hoskin se interesó, como no podía ser de otra manera, por los monumentos megalíticos de Menorca, los Talayots. Reflejo de ello son las publicaciones que Hoskin fue realizando desde el año 1994 al 2002 bajo el nombre genérico de “Studies in Iberian Ar-

chaeoastronomy” (Hoskin *et al.* 1994, 1995, 1995b; 1998, 2001; Hoskin y Palomo 1998; Hoskin y Sauch 1999; Gómez y Hoskin 2000; Hoskin 2002), siendo varias de ellas en colaboración con investigadores españoles.

A pesar de su importancia, todas estas investigaciones arqueoastronómicas se hicieron sin tener en consideración interpretaciones arqueológicas y, por lo tanto, a espaldas de la comunidad de arqueólogos. Como consecuencia, los datos obtenidos nunca fueron interpretados e incluidos en investigaciones para un mayor conocimiento de nuestro pasado. Además de ello, el hecho de que se hicieran de forma separada de la Arqueología ha motivado que ambos mundos se encuentren cada vez menos en contacto y haya creado en los arqueólogos cierto sentimiento de recelo hacia los datos e interpretaciones que de los estudios arqueoastronómicos resultan. Afortunadamente, parece que esta tendencia remite y van apareciendo proyectos en los que los estudios con carácter arqueoastronómico son parte de proyectos interdisciplinarios.

La tendencia de separar ciencias sociales y naturales tuvo su excepción en Carlos Jaschek Yfundador de la Sociedad Europea de Astronomía Cultural (SEAC)Y que fomentó reuniones periódicas intentando crear un foro de encuentro entre ciencias sociales y naturales.

El primer proyecto interdisciplinar en el que se tuvo en cuenta la información arqueoastronó-

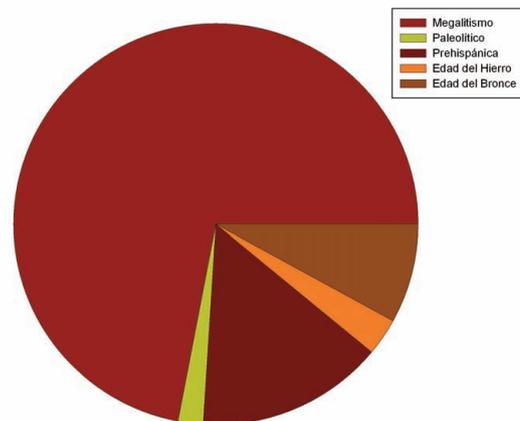


Fig. 1. Atención investigadora por periodos históricos. Basado en Cerdeño *et al.* 2006.

mica fue el llevado a cabo por los profesores Almagro Gorbea y Gran-Aymerich (Almagro-Gorbea y Gran-Aymerich 1991, Armentia *et al.* 1993) en el yacimiento localizado en Bibracte, dentro de la Borgoña francesa. No fue hasta el año 1993 cuando en España no aparece un grupo de investigación propiamente español, liderado por Belmonte (Belmonte *et al.* 1993) y radicado en Canarias.

A partir del cambio de siglo, empieza la diversificación cultural y temporal en los diferentes estudios y comienza a aparecer en los planes de estudio de diversas universidades, elemento que sin duda será el primer paso para un futuro asentamiento de la Arqueoastronomía como disciplina en España. Estas universidades son la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad de La Laguna de Tenerife y la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Sin embargo, son estudios solamente asociados a cursos de posgrado y a carreras científico-técnicas sin continuación en especialidades correspondientes a las ciencias sociales, con lo que aparece de nuevo el problema del aislamiento entre las dos ciencias.

III. UNA PROBLEMÁTICA PROPIA

Es patente la heterogeneidad de los profesionales que se dedican a Arqueoastronomía, cada especialista aporta su formación contribuyendo a un desconcierto conceptual y a una ausencia de metodología propia. Parece imposible que este hecho varíe hasta que no exista una formación específica en las universidades —los primeros pasos se han dado— españolas. Por otro lado, la desconexión existente entre Arqueología y Arqueoastronomía es una realidad y cuando se colabora se hace dentro de proyectos habitualmente multidisciplinarios en lugar de interdisciplinarios. Pero quizás lo más preocupante de todo ello sea que estos problemas, como se ha visto, se encuentran desde los primeros momentos de la disciplina. Para romper la continuidad de la problemática nos parece vital poseer una metodología propia que sea capaz de afrontar, falsar y solucionar los supuestos teóricos específicos y cumplir los objetivos que esta ciencia posee.

IV. METODOLOGÍA

No es extraño encontrarse en la bibliografía mediciones realizadas con medios tales como brújula, clinómetro o teodolito. Estos aparatos poseen unas precisiones actualmente superadas por las estaciones totales y los receptores de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), ello unido a los precios asequibles que presentan hoy en día estos aparatos, su versatilidad en toma de datos in situ y su portabilidad hacen de ellos una opción muy a tener en cuenta como punto de partida en instrumentación arqueoastronómica.

Con la intención de conocer la precisión de estos aparatos y su adecuación al trabajo arqueoastronómico hemos realizado una comparativa dentro del marco de dos proyectos: *Trabajos arqueológicos en el yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)*, sufragado por la Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Y *Aplicación de tecnologías GPS a Arqueología. ARQUEOGPS*, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

La instrumentación utilizada ha sido un teodolito Wild T2, una estación total PENTAX ATS-101 y dos receptores GPS: el receptor monofrecuencia Ashtech PROMARK 2 y el receptor bifrecuencia Leica 1200. Los diferentes métodos que hemos testado los podemos dividir en métodos geodésico-astronómicos y métodos geodésicos con GPS. De forma ampliada (para un mayor detalle de los métodos geodésicos y geodésico-astronómicos utilizados consultar Anderson y Mikhail 1998 y Wolf y Brinker 1993):

[A] MÉTODOS GEODÉSICO-ASTRONÓMICOS:

[A1] Determinación del Azimut a partir de observaciones solares con teodolito.

[A2] Medida de ángulos horizontales con Estación Total.

[A3] Medida de ángulos horizontales con Estación Total usando medidas rápidas de ángulos.

[A4] Determinación de azimuts por medidas indirectas.

[B] MÉTODOS GEODÉSICOS CON GPS:

[B1] Posicionamiento estático relativo con receptores monofrecuencia.

[B2] RTK (Real-Time Kinematic) con receptores bifrecuencia.

[B3] Determinación de coordenadas de los puntos

[B4] Computación de la posición geodésica. Determinación del azimut entre dos puntos.

Para adecuar el estudio lo más posible a la realidad, hemos supuesto una serie de puntos que proporcionan una configuración final variable. Es decir, de esta forma podemos simular una línea de muralla, un edificio perfectamente rectangular o uno en un estado precario de conservación (Figura 2).

Como resultados de la comparativa podemos decir (Tablas 1 y 2) que los métodos estudiados son comparativamente mejores que los tradicionalmente usados, brújula y clinómetro. En cuanto a los métodos son apropiados los métodos geodésicos y astronómicos de forma combinada para los yacimientos con pocas orientaciones; mientras que los métodos basados en GPS son especialmente útiles en yacimientos con muchas orientaciones a medir. También cabe reseñar que los métodos geodésicos son inviables en lugares

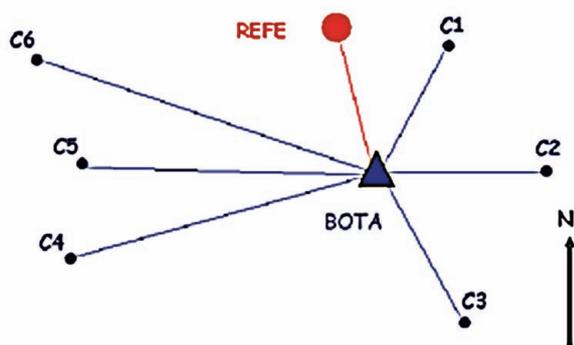


Fig. 2. Esquema de puntos para configuración final. REFE es el punto tomado como referencia para la medición de ángulos y BOTA el punto central.

donde no haya intervisibilidad, en ellos únicamente son útiles los basados en GPS. En los métodos en donde interviene algún dato astronómico: Azimut a partir de observaciones solares y radiación, es necesario añadir un tiempo extra de post-procesado de los datos. Por último, teniendo en cuenta que hemos usado instrumentación de diferente precio (en particular el receptor GPS bifrecuencia es sensiblemente más caro que el monofrecuencia) no se aprecia diferencias significativas que justifiquen el gasto para nuestros objetivos.

MÉTODO	AZIMUTH	TIEMPO	PRECISIÓN	EQUIPO	COSTE
A1+A2	166º.7453	30 MIN	1'	TEODOLITO	BAJO
A1+A3	166º.6635	20 MIN	1'	E.T.	MEDIO
B1+B3+B4	166º.4374	15 MIN	CM	GPS MONO	BAJO
B1+B2+B4	166º.5871	2 MIN	MM	GPS BI	ALTO

Tabla 1. Métodos directos, dirección BOTA-C3.

MÉTODO	AZIMUTH	TIEMPO	PRECISIÓN	EQUIPO	COSTE
A1+A2+A4	86º.6947	30 MIN	1'	TEODOLITO	BAJO
A1+A3+A4	86º.4830	20 MIN	1'	E.T.	MEDIO
B1+B3+B4	86º.5450	15 MIN	CM	GPS MONO	BAJO
B1+B2+B4	86º.4269	2 MIN	MM	GPS BI	ALTO

Tabla 2. Métodos indirectos, dirección BOTA-C2.

V. EL CASTRO CELTIBÉRICO DE EL CEREMEÑO

La zona arqueológica de El Ceremeño (Rodríguez *et al.* 2006) se encuentra en el municipio de Herrería en la provincia de Guadalajara, y constituye uno de los ejemplos más significativos de la cultura celtibérica.

En este conjunto arqueológico se llevaron a cabo diferentes mediciones con la intención de conocer las posibles orientaciones existentes en el castro y en la necrópolis adyacente. Como aparece en el artículo anteriormente citado, se pretende conocer la orientación de los elementos más significativos del castro respecto de la línea Norte - Sur: los muros de los siglos V y VI a. C., la muralla y las direcciones de la necrópolis y del castro cercano de El Torrejón respecto del castro de El Ceremeño. Se usan métodos geodésicos para realizar las mediciones, los resultados reflejan que no existen orientaciones especiales en el castro (Figura 3), en particular respecto a los acimuts de los ortos y ocasos del Sol y de la Luna en la época de construcción del castro.

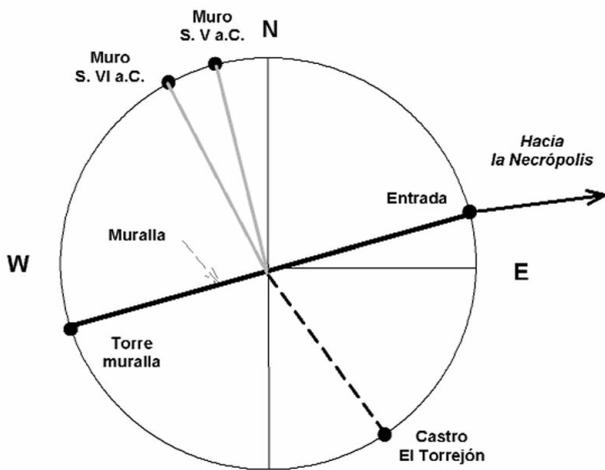


Fig. 3. Orientaciones de los elementos significativos del castro.

La misma metodología se usa para la necrópolis cercana que conjuntamente con la planimetría y una buena metodología de excavación permite discernir entre dos conjuntos de puntos correspondientes a dos épocas diferentes de enterramiento. Un post-procesado de los datos mediante métodos estadísticos refleja la orientación en ambas épocas a la parada mayor de la Luna (Figura 4).

Este es un buen ejemplo de metodología geodésica aplicada a las necesidades de problemas arqueoastronómicos. La metodología permite falsar la existencia de orientaciones en el castro y demostrar la existencia de orientaciones de carácter astronómico en el caso de la necrópolis del castro. A su vez, se trata de un caso de colaboración inter-

disciplinar entre ciencias sociales y naturales que se unen para falsar una hipótesis científica, reduciendo enormemente las posibilidades de dar por correctas posibles orientaciones casuales y sacando conclusiones culturales de los datos obtenidos por medio de un estudio arqueoastronómico.

En el futuro inmediato y aprovechando los avances realizados en el campo de las técnicas de posicionamiento global se pretende complementar las medidas de este y otros yacimientos de la misma cultura. Los objetivos son varios pero destacan la comprobación de las hipótesis que plantea este yacimiento en una muestra estadísticamente significativa y la realización de estudios topoastronómicos que además, del obvio interés científico, serán utilizados como herramienta de divulgación arqueoastronómica al incorporarse al discurso expositivo de los yacimientos.

VI. CONCLUSIONES

Parece claro que la Arqueoastronomía, como cualquier disciplina científica, debe poseer una metodología propia que le permita falsar las hipótesis de trabajo. Creemos que nuestra propuesta mixta de métodos geodésicos y astronómicos puede ser un buen punto de arranque para conseguir una metodología adecuada a las necesidades y objetivos de los trabajos arqueoastronómicos.

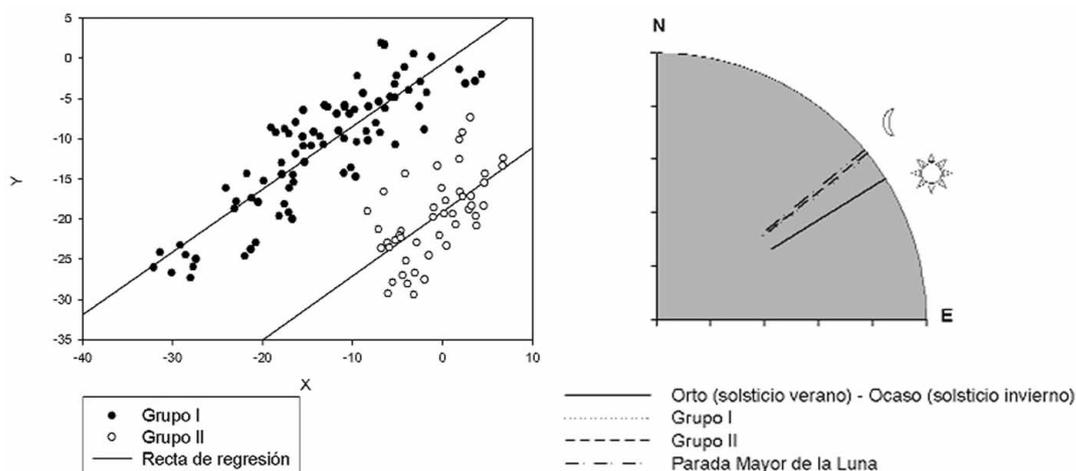


Fig. 4. A la izquierda, ajuste lineal para las tumbas de la necrópolis. A la derecha, diagrama que muestra la orientación astronómica de las tumbas.

Tras el estudio detallado de la metodología habitualmente usada por nuestro grupo de investigación queda claramente reflejada la fiabilidad y utilidad de las mismas. Obviamente, para conseguir una buena metodología —práctica y útil— la misma debe ser flexible y sensible a los parámetros de entrada que sin duda deben ser, en primera instancia, el tipo de yacimiento y el tipo de medida que nos sea necesario realizar en él. Con la descripción metodológica realizada en este trabajo poseemos una horquilla de métodos en función de los parámetros de entrada ya comentados. A pesar de su utilidad, esperamos que este sea un primer escalón hacia una metodología propia sistematizada y diseñada específicamente para resolver los problemas que aparecen durante el transcurso de un estudio arqueoastronómico.

No obstante, si queremos conseguir una metodología adecuada no podemos dejar atrás a los arqueólogos ni a la Arqueología, solamente con una colaboración plena conseguiremos resultados interpretables por las ciencias sociales que nos ayuden a desentrañar el pasado de las civilizaciones antiguas y la utilización del conocimiento astronómico que realizaban.

Pese a todo, no hay que olvidarlo, la Arqueoastronomía es una ciencia de tremenda utilidad para el conocimiento arqueológico ya que es una herramienta que permite al arqueólogo adentrarse en el registro inmaterial de las culturas antiguas, hasta ahora algo impensable.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, J.M. y MIKHAIL E.M. 1998: *Surveying Theory and Practice*. McGraw-Hill
- ALMAGRO-GORBEA, M.; DOMÍNGUEZ DE LA CONCHA, A. y LÓPEZ-AMBITE, F. 1990: "CanchoRoano: Un palacio orientalizante en la Península Ibérica". *Publicac. Mainz: Philipp von Zabern*.
- ALMAGRO-GORBEA, M. y GRAN-AYMERICH, J.M.J. 1991: "El Estanque Monumental de Bibracte". *Complutum Extra* 1. Madrid.
- ARMENTIA, J.E.; ALMAGRO-GORBEA, M.; GRAN AYMERICH, J.M.J. y RODRÍGUEZ, G. 1993: "Trazado y orientación topo-astronómica del Estanque Monumental de Bibracte". En J. Mangas y J. Alvar (eds.): *Homenaje a José María Blázquez*. Ediciones Clásicas. Madrid: 267-284.
- BELMONTE, J.A.; APARICIO, A. y ESTEBAN C. 1993: "A Solstitial Marker in Tenerife: The Majanos de Chacona". *Archaeoastronomy* 18: 65-68.
- 1994: "A Solstitial Marker in Tenerife: Addendum". *Archaeoastronomy* 19: 84-86.
- BELMONTE, J.A. y HOSKIN, M. 2002: "Reflejo del cosmos. Atlas de Arqueoastronomía en el Mediterráneo Antiguo". *Equipo Sirius*. Madrid.
- BELMONTE, J.A. y SANZ DE LARA, M. 2001: *El cielo de los Magos. La marea*. Santa Cruz de Tenerife.
- BELMONTE, J.A.; ESTEBAN, C.; SCHLUETER, R.; PERERA, M.A. y GONZÁLEZ, O. 1995: "Marcadores equinocciales en la Prehistoria de Canarias". *Noticias del I.A.C* 4: 8-12.
- BELMONTE, J.A.; ESTEBAN, C.; APARICIO, A.; TEJERA, A. y GONZÁLEZ, O. 1995b: "Canarian Astronomy before the Conquest: the pre-hispanic calendar". *Revista de la sociedad canaria para la ciencia* VI: 133-156.
- BELMONTE, J.A.; PERERA, M.A.; ESTEBAN, C. y TEJERA, A. 1995c: "Estudio arqueoastronómico de los grabados podomorfos de Tindaya". *Noticias del I.A.C* 1: 18-20.
- BELMONTE, J.A.; PERERA, M.A.; TEJERA, A. y ESTEBAN, C. 1996: "Arqueoastronomía en Fuerteventura: una aplicación a la montaña de Tindaya". *Revista de la academia canaria de Ciencias* VII (2-3-4): 9-22.
- BELMONTE, J.A. 2000: *Arqueoastronomía Hispánica. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los archipiélagos balear y canario*. Equipo Sirius, 2ª ed. Madrid.
- CERDEÑO, M.ª L., RODRÍGUEZ, G. y FOLGUEIRA, M. 2001-2002: "El paisaje funerario de la cultura celtibérica". *Anales de Prehistoria y Arqueología* 17-18: 177- 185.
- CERDEÑO, M.ª L.; RODRIGUEZ, G. y HERNANDEZ, M.ª C. 2004: "Novedades culturales y metodológicas en la necrópolis de Herrería (Guadalajara)". *Publicaciones del Museo Arqueológico Nacional*: 43-62.
- CERDEÑO, M.ª L.; RODRIGUEZ, G.; MOYA, P. R.; Ibarra, A.; Herrero, S. 2006: "Los estudios de Arqueoastronomía en España: Estado de la cuestión". *Trabajos de Prehistoria* 63, nº2: 13-34.
- ESTEBAN, C. 2003: "La Arqueoastronomía en España". *Anuario del Observatorio Astronómico*. Instituto Geográfico Nacional 52: 309-322.
- GÓMEZ, A y HOSKIN, M. 2000: "Studies in Iberian archaeoastronomy:(7) orientations of megalithic tombs of Huelva". *Archaeoastronomy* 25: 41-50.
- HOSKIN, M. 2002: "Studies in Iberia Archaeoastronomy: (9) an overview". *Archaeoastronomy* 27: 75-82.
- HOSKIN, M.; ALLAN, E. y GRALEWSKI, R. 1994: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (1) Orientations of the Megalithic Sepulchres of Almería, Granada and Malaga". *Archaeoastronomy* 19: 55-82.
- 1995a: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (2) Orientations of the Tholos Tombs of Almería". *Archaeoastronomy* 20: 29-39.
- 1995b: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (3) Customs and Motives in Andalucía". *Archaeoastronomy* 20: 41-48.
- HOSKIN, M. y PALOMO, T. 1998: "Studies in Iberian Archaeoastronomy (4): The orientations of the megalithic tombs of eastern Catalunya". *Archaeoastronomy* 29: 63-79.
- HOSKIN, M. y SAUCH, C. 1999: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (6) orientations of megalithic tombs of Badajoz and Neighbouring Portugal". *Archaeoastronomy* 24: 35-40.
- HOSKIN, M.; MERCADAL, O; ALIAGA, S.; ZALDUA, L.M.; RODRÍGUEZ, A.A.; SOARES, N.M.; LÓPEZ PLAZA, M.S.; DE SENNA-MARTÍNEZ, J.C.; HENRIQUES, F.; BELMONTE, J.A.; LAGO, M.; ALBERGARIA, J.; CALADO, M. y MARTINS, A. 1998: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (5) orientations of megalithic tombs in Northern and Western Iberian". *Archaeoastronomy* 23: 29-87.
- HOSKIN, M.; QUINTÁ, J.M.; TIRAPICOS, L.; VERA, J.C.; MAS, M.; CRUZ-AUÑÓN, R.; GARCÍA SANJUÁN, L.; BELMONTE, J.A.; PIMENTA, F. y MARTÍN DE LA CRUZ, J.C. 2001: "Studies in Iberian archeoastronomy: (8) orientations of megalithic and tholos tombs of Portugal and Southwest Spain". *Archaeoastronomy* 26: 45-64.
- JASCHEK, C. (ed.) 1993: *European Meeting on Archeoastronomy & Etnoastronomy. Proceedings of the SEAC foundational conference (Estrasburgo 1992)*. L'Observatoire Astronomique de Strasbourg. Strasbourg.
- JASCHEK, C. y ATRIO, F. (eds.) 1997: *Actas del IV congreso de la SEAC "Astronomía en la cultura" (Salamanca 1996)*. Universidad de Salamanca. Salamanca.
- LOCKYER, J.N. 1909: "Stonehenge and Other British Stone Mo-

- numents Astronomically Considered". Macmillan and Co., Limited. London.
- RODRIGUEZ, G.; CERDEÑO, M.^a L.; FOLGUEIRA, M. y SAGARDOY, T. 2006: "Observaciones topoastronómicas en la Zona Arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)". *Complutum* 17: 133-143.
- STUKELEY, W. 1740: *Stonehenge, A Temple restor'd to the British Druids*. London.
- THOM, A. 1954: "The solar observatories of Megalithic Man". *Journal of the British Astronomical Association* 64: 396-404.
- 1967: *Megalithic sites in Britain*. Oxford University Press. Oxford.
- THOM, A. y THOM, A.S. 1980a: "A New Study of All Megalithic Lunar Lines". *Archaeoastronomy* 2: 78-89.
- 1980b: "Astronomical Foresight Used by Megalithic Man". *Archaeoastronomy* 2: 90-94.
- 1983: "Observation of the Moon in Megalithic Times". *Archaeoastronomy* 5: 57-66.
- 1984: "Two Major Megalithic Observatories in Scotland". *Archaeoastronomy* 7: 129-148.
- WOLF, P. R. y BRINKER R.C. 1993: *Elementary Surveying*. HarperCollins College Publishers. New York.
- WOOD, J. 1747: *Choir Gaure, Vulgarly called Stonehenge, on Salisbury Plain*. Oxford.

LA ARQUEOASTRONOMÍA: ¿UNA ARQUEOMETRÍA MÁS?

ARCHAEOSTRONOMY: DOES IT MEANS ARCHAEOMETRY?

M.^a Luisa Cerdeño Serrano (1) / Gracia Rodríguez Caderot (2)

(1) Dpto. de Prehistoria, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid

(2) Sección Departamental de Astronomía y Geodesia, Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN: La arqueoastronomía en España es una disciplina todavía en vías de expansión, a pesar de que en otros países de Europa tiene una tradición de más de un siglo. Al ser una materia en la que intervienen especialistas de campos científicos bien distintos, la física y la arqueología, tiene planteados algunos problemas teóricos y metodológicos. Las autoras consideran que la arqueometría podría ser el marco adecuado para su pleno desarrollo.

SUMMARY: The Archeoastronomy in Spain still has a short life, while in other European countries has already presence for more than 100 years. Because in Astronomy are involved specialists from different sciences, Physic and Archaeology, it arises several theoretical and methodological problems. The authors of this paper propose that the Archaeometry might be the adequate framework for it develop.

PALABRAS CLAVE: Arqueoastronomía, Arqueometría, España.

KEY WORDS: Archaeoastronomy, Archaeometry, Spain.

I. INTRODUCCIÓN

La Arqueoastronomía es una disciplina con un amplio desarrollo en Europa, donde hace más de un siglo algunos estudiosos y eruditos británicos mostraron interés por la posible relación entre los vestigios arqueológicos y determinados eventos celestes (por ejemplo Thom 1954; Innerebner 1959; Heggie 1981; Cunliffe y Renfrew 1997). En España no existe una tradición tan larga pues la atención hacia esta área de conocimiento se remonta a poco más de veinte años, con algunas aproximaciones pioneras (Belmonte *et al.* 1993; 1995 ver IAC). En los últimos tiempos está alcanzando cierta relevancia y si realmente los estudios arqueoastronómicos siguen avanzando, tanto desde el campo de la astronomía como desde el arqueológico debería prestarse una especial atención a los aspectos fundamentales que actualmente preocupan a los especialistas y que se pueden resumir en las cuestiones teóricas y conceptuales que ocupan el actual debate y en el rigor de los métodos y técnicas empleados en la toma de datos.

Esta disciplina arrastra desde sus orígenes problemas de planteamiento que preocupan a algunos especialistas y que surgen seguramente porque en su desarrollo están implicados dos campos de la ciencia bien diferentes, la física y la arqueología, que parten de unos presupuestos alejados entre sí ya que sus epistemologías, métodos y técnicas discurren por distintos caminos a pesar de interesarse por la misma evidencia material.

La arqueoastronomía surgió de la mano de los astrónomos, que eran los que sabían y podían medir y analizar los movimientos celestes, pero claramente no es una rama de la astronomía sino de la arqueología puesto que su objetivo es averiguar el comportamiento de las sociedades antiguas ante determinados fenómenos que ocurren en el cielo y ello le confiere un carácter ecléctico que no acaba de encontrar el marco adecuado para su desarrollo. Los arqueólogos estuvieron prácticamente ausentes en la gestación de esta línea de estudio quizás porque los primeros autores escribían sobre el tema con un excesivo cientificismo totalmente excluyente para los no especialistas (ver re-

vista *Archaeoastronomy*: Iwaniszewski 1994; Cerdeño *et al.* 2006), que ya se está siendo sustituido por un lenguaje más accesible que permite un acercamiento más fácil a los datos técnicos (por ejemplo Belmonte 2000).

No hay que olvidar que la investigación de los fenómenos sociales tiene un carácter diferente al del estudio de los fenómenos físicos de la naturaleza y que, por ello, la Arqueoastronomía debe ser una materia necesariamente interdisciplinar que debe buscar un espacio común de encuentro si verdaderamente quiere resultar eficaz, aunque para conseguirlo haya tenido dificultades y no haya conseguido crear una teoría unitaria sobre su objetivo científico ni plasmar esa supuesta pluralidad en la práctica de la investigación formal (Iwaniszewski 2009). El marco teórico, epistemológico y metodológico más adecuado, que superaría el escalón de la mera toma de datos, y en el que se englobarían todas las disciplinas que estudian el papel que jugó el cielo entre las sociedades del pasado sería la Astronomía Cultural, dentro de la cual estarían incluidas la Arqueoastronomía, Etnoastronomía o la Historia de la Astronomía, como desde hace muchos años vienen proponiendo el mencionado autor (Iwaniszewski 1989; 2009).

Desde el campo de las ciencias sociales, todos los autores coinciden en que el cielo ha tenido siempre un valor sociocultural puesto que está presente de forma continuada en las vidas de los humanos y los elementos que en él están y sus movimientos regulares sirven para imponer y marcan orden en el medio les rodea y en sus propias vidas. Teniendo en cuenta que las sociedades primitivas, del pasado o actuales, son mucho más globalizadoras que la nuestra y no separan tan radicalmente los conceptos naturaleza-hombre y como además tienden a sacralizar aquello que no controlan, es habitual observar que otorgan carácter sagrado a ciertos lugares, a determinados seres vivos y, por supuesto, a la bóveda celeste y a todos los acontecimientos que en ella suceden y que acaban representando o simbolizando en ideas, valores, cosmovisiones, etc.

Pero a pesar de esta realidad, la posibilidad de estudiar el cielo como un referente cultural que

permite una aproximación a los aspectos ideológicos y religiosos de los grupos estudiados, la disciplina que de ello se ocupa ha sido ignorada por los arqueólogos que no han valorado que puede ser un camino de acercamiento a formas de pensamiento de sociedades arcaicas. El ejemplo que siempre recordamos es el de la Arqueología Espacial puesto que durante sus primeros treinta años de trayectoria se ha ocupado ampliamente del espacio terrestre pero ha ignorado el espacio celeste como parte del medio circundante a una comunidad humana (*Arqueología Espacial*), aunque esta posición está cambiando radicalmente como puede comprobarse en estudios recientes (García Quintela y Gonzalez 2009).

No cabe duda de que si somos capaces de percibir y demostrar la correspondencia entre la ubicación, forma u orientación de determinados vestigios arqueológicos con elementos o eventos celestes, obtendremos una información nueva que ayudará a comprender mejor el comportamiento de aquellos grupos antiguos y, sobre todo, su forma de pensar a través de símbolos que, por supuesto, resulta difícil descifrar; esta nueva línea de investigación trata de ver que importancia o que “respuestas” dieron en cada momento a los fenómenos celestes que sobre ellos se producían. Para los arqueólogos sería un gran avance contar con nuevas perspectivas y técnicas que permiten una aproximación a lo menos tangible de una sociedad, es decir, su pensamiento, creencias o símbolos.

Para que esta línea de estudio se desarrolle adecuadamente, se acepte definitivamente en todos los foros y pueda cumplir sus objetivos, creemos que todavía debe salvar el escollo que supone la práctica ausencia de esta materia en la universidad española, a ser posible desde una perspectiva común que aúne los necesarios cálculos astronómicos y geodésicos y la perspectiva cultural que sobre el tiempo y el espacio han tenido los humanos a lo largo del tiempo. Pero al día de hoy y con los nuevos planes de estudio ya en marcha, observamos que el panorama no es muy alentador puesto que ni en las facultades de CC. Físicas ni en las de Historia adquiere protagonismo. En el ámbito astronómico, vemos que desde el pionero curso de especialización que impartió Belmonte en

1998 en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Tenerife no se ha avanzado mucho y la arqueoastronomía se incluye en las introducciones históricas de la materia o en algunos cursos de Tercer Ciclo. En el campo de la arqueología su presencia quizás sea menor pues se reduce a algunos seminarios específicos o a meros capítulos dentro de otras asignaturas. Hay algunos organismos no estrictamente docentes que la incorporan, como el Instituto de Arqueometría de Alicante o el Instituto de Astrofísica de Canarias, donde Belmonte fue pionero al establecer una línea de investigación de Arqueoastronomía (Cerdeño *et al.* 2006). La escasa presencia en los planes de estudio universitarios tiene también su paralelo en la escasez de proyectos de investigación específicos, sobre todo entre los arqueólogos e historiadores, reduciéndose la colaboración entre especialistas a contactos individuales. Hay autores que se lamentan de esta situación puesto que mientras la Arqueoastronomía no esté plenamente aceptada en ambos campos científicos como un posible diseño curricular, los estudiantes y doctorandos interesados no podrán dedicarse plenamente a ello sin comprometer su futuro investigador (Esteban 2009).

II. LA ARQUEOASTRONOMÍA EN EL MARCO DE LA ARQUEOMETRÍA

Hemos aceptado que el marco teórico adecuado para estudiar la percepción del cielo que tenían los antiguos grupos humanos es el de la Astronomía Cultural y que dentro de ella quedaría englobada la Arqueoastronomía puesto que ésta, por si sola, no ha conseguido establecer una teoría unitaria sobre su quehacer científico (Iwaniszewski 2009: 30). A lo largo de su trayectoria se ha convertido básicamente en la encargada de hacer las observaciones astronómicas de un yacimiento arqueológico, en definitiva, en un campo analítico o metodológico encargado de la toma impecable de datos topoastronómicos.

Esta afirmación se ve ejemplificada en el caso del megalitismo que ha sido uno de los fenómenos del pasado prehistórico que más ha interesado a los arqueoastrónomos (por ejemplo Hoskin 1985 y 2001; Ruggles 1984) y ello por dos razones principales; una porque al principio la disciplina

tenía un enfoque monumentalista y los cálculos astronómicos se aplicaban casi exclusivamente a grandes estructuras de piedra a las que rodeaba un cierto misterio popular y la segunda porque los megalitos cumplían este requisito y además ofrecían la posibilidad de realizar mediciones y orientaciones a partir de sus largos corredores de acceso. Pero todas esas mediciones, la mayoría de ellas impecables desde el punto de vista técnico, se realizaron sin estar coordinadas con proyectos planteados desde las ciencias sociales y no fueron ni conocidas ni utilizadas por los arqueólogos. Hasta mediados de los años 80 del pasado siglo, en todos aquellos trabajos europeos y en los primeros españoles que seguían básicamente las pautas establecidas por los autores británicos, se observa la ausencia de esta necesaria perspectiva cultural.

Hoy en día, los investigadores que trabajan en el campo de la Arqueoastronomía ya tienen claro que todas las actuaciones técnicas no deben desvincularse del proyecto científico que las motiva y que no debe ser otro que el responder a los interrogantes que planteen el arqueólogo o el antropólogo; es decir, el mismo problema que tiene planteada cualquier otra arqueometría. La Arqueología moderna está altamente tecnificada y son muchas las ciencias y las técnicas que proporcionan información sobre los vestigios del pasado, de manera que se han creado auténticas subdisciplinas de la arqueología, la mayor parte de las cuales se agrupan en la Arqueometría como campo de referencia común y una de estas subdisciplinas podría ser la Arqueoastronomía.

Sin embargo, la Arqueoastronomía está ausente del marco que ofrece la Arqueometría, como podemos comprobar si revisamos los índices de los ocho Congresos Ibéricos de Arqueometría (por ejemplo Rovira *et al.* 2008), prueba de que la arqueología la ignoraba. Nuestra propuesta es que se incluya en dicho marco y que esté presente entre las numerosas técnicas y métodos de trabajo que proporcionan datos a la Arqueología, ya que encaja perfectamente en la definición de la Arqueometría: "...campo interdisciplinar entre las Ciencias Naturales y las Ciencias Humanas, que tiene como objetivo desarrollar técnicas y métodos especializados para poderlos aplicar a obtener información sobre espec-

tos culturales, históricos o medioambientales del pasado” (Maniatis 2002: 64). Tendría, pues, un tratamiento parecido al que tienen la Arqueobotánica, la Arqueozoología o la Arqueometalurgia y a partir de ahora el arqueólogo debería plantearse interrogantes arqueoastronómicos de la misma manera que se plantea preguntas osteológicas o paleoambientales (García Quintela y González 2009: 48).

Su inclusión en este ámbito de trabajo no implica que los problemas de fondo que tiene planteados queden solucionados, puesto que muchos de ellos también son comunes a todas las demás subdisciplinas que se integran en el campo arqueométrico. En muchas ocasiones es patente el hecho de que cada ciencia aplica sus propios conceptos sobre los datos a estudiar y eso propicia el alejamiento entre cada una de ellas y la arqueología, actuando a veces de manera independiente de los objetivos que están en su propia esencia, es decir, en solucionar problemas o dar respuestas a las preguntas que los arqueólogos y los antropólogos formulan sobre las sociedades del pasado. Como ya alertan muchos autores, realizar más analíticas no sirve especialmente para mucho si no se incluyen en el planteamiento social e histórico de la arqueología que estudia a los sujetos humanos y su comportamiento (Castro *et al.* 2004).

La Arqueometría tiene todavía muchos problemas por resolver que ya han sido apuntados en varias ocasiones (García Heras 2003; Montero *et al.* 2007) y que comienzan con la falta de reconocimiento académico del conjunto y de cada una de las subdisciplinas que lo integran, lo que dificulta la aparición de nuevos profesionales que decidan encauzar su trabajos por esta línea. Los problemas se agudizan cuando se observa que la comunidad arqueológica no acaba de comprender y manejar adecuadamente los datos que proporcionan los diferentes especialistas por lo que muchas veces carecen de sentido (Montero *et al.* 2007: 35 y ss), pero también hay que subrayar que con frecuencia la obtención de esos datos, mediante los adecuados métodos y técnicas especializadas, discurre de manera independiente, convirtiéndose en el fin último de todo el trabajo y no como una vía para obtener respuesta a las preguntas que sobre esos vestigios del pasado se habían formulado previa-

mente. En este sentido, no dejamos de recordar las críticas que sobre todo ello están planteados desde hace más de quince años y que creemos quedan muy bien resumidas en la siguiente afirmación: “*Archaeometry: if is not Archaeology, then it is nothing*” (Tite 2002: 34). La palabra arqueometría podríamos cambiarla por cada de las subdisciplinas que la integran, entre las que debería quedar incluida la Arqueoastronomía.

III. LA OBTENCIÓN RIGUROSA DE LOS DATOS

Consideramos que la arqueoastronomía es una disciplina científica, con unos puntos de partida y unos objetivos claros y unos métodos y técnicas analíticas rigurosas, en los que hay que apoyarse para conseguir unos resultados válidos. En un estudio arqueoastronómico se pueden realizar diferentes observaciones que resumimos básicamente en: conocimiento de los eventos celestes en la época de estudio, el horizonte topográfico, la medición de posibles orientaciones intencionadas.

Quizás uno de los primeros pasos sea conocer con detalle los fenómenos celestes que ocurrieron en la época en estudio, es decir, tener un mapa del cielo lo más preciso de aquella época. Actualmente los paquetes informáticos disponibles (por ejemplo Alcyone Ephemeris, MICA, The Sky, Starry Nihgt) permiten efectuar este trabajo de una manera rápida y precisa (Figura 1) y además existen algoritmos para calcular la posición del eje de rotación con respecto a las estrellas en distintas épocas, que varía debido al efecto de la precesión. Esto es importante pues esta variación afecta al ángulo que forma el ecuador terrestre con la eclíptica, que determina la declinación del Sol, es decir su altura sobre el ecuador. Esta declinación va a ser un dato importante a la hora de calcular las direcciones del horizonte por donde tienen lugar los ortos y ocasos del Sol en fechas señaladas, equinoccios, solsticios, pasos del Sol por el cenit, etc.

Por otro parte, también es necesario determinar las orientaciones de monumentos, tumbas, etc. con la mayor precisión posible para que los datos de campo sean de absoluta fiabilidad, dado

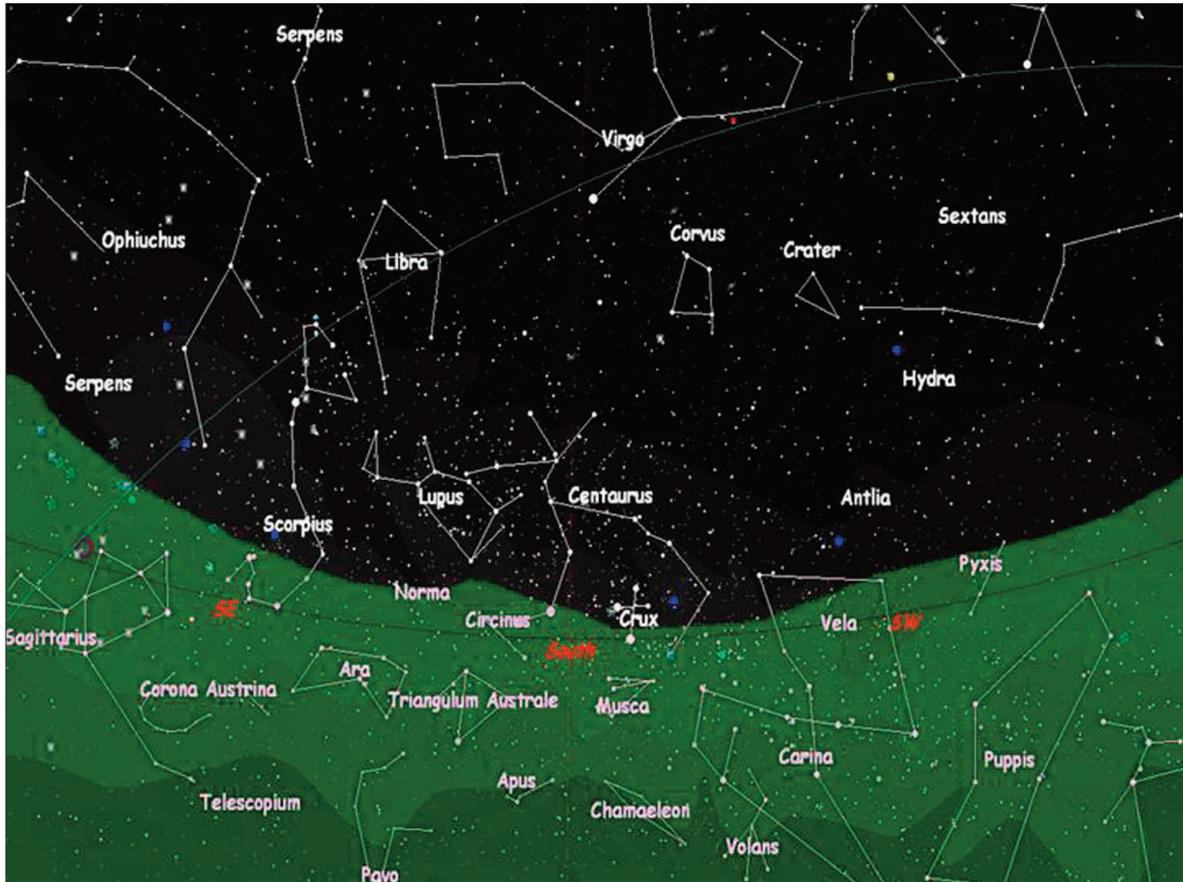


Fig. 1. Reproducción del espacio celeste. Ejemplo del aspecto del cielo en el año 500 a. C. (Programa Sky).

que después van a ser usados para fundamentar hipótesis sobre las relaciones no casuales que las antiguas sociedades tuvieron con la bóveda celeste y los fenómenos que en ella se producen, así como con el paisaje circundante.

Orientar significa determinar el acimut de una cierta dirección, es decir el ángulo que esta dirección forma con la dirección norte-sur, medido desde el norte y en dirección creciente hacia el este (Figura 2). Como normalmente no conocemos la dirección norte-sur es necesario utilizar diversos métodos para obtener el acimut de la dirección.

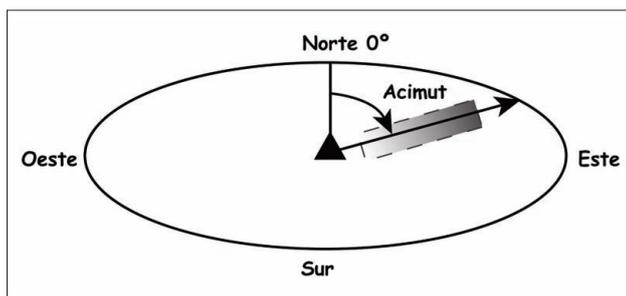


Fig. 2. Definición de acimut.

Para este fin, la Geodesia, la Topografía y la Astronomía proporcionan diversas técnicas y metodologías con diferentes órdenes de precisión. Hay que hacer notar un factor importante en estos trabajos de campo, el estado de conservación de los restos, lo que hace que sea necesario un estudio previo para elegir las técnicas más apropiadas, incluso desde el punto de vista económico o de duración de los trabajos. Además de este aspecto, al planificar un trabajo de campo sería necesario realizar las siguientes etapas:

- Analizar las diferentes instrumentaciones y técnicas de campo geodésicas.
- Examinar las metodologías y estrategias de toma de datos.
- Hacer un estudio comparativo de las diversas técnicas.
- Decidir la técnica y el método más apropiados.

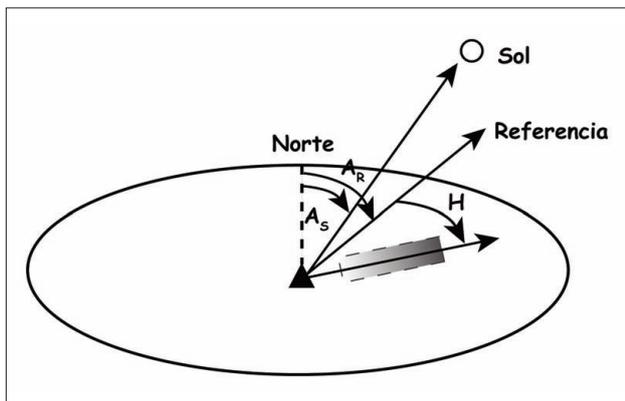


Fig. 3. Esquema del método de determinación del acimut de una dirección mediante el acimut del Sol. A_R acimut de la referencia, A_S acimut del Sol, H ángulo entre la dirección al Sol y la dirección problema.

El método más simple sería utilizar una brújula, pero hay que tener en cuenta que la brújula señala el norte magnético, que no coincide con el norte geográfico, la diferencia puede ser realmente muy apreciable (Domínguez 1997). Si se requiere más precisión en la toma de datos es necesario acudir a los métodos tradicionales de la astronomía y la geodesia para realizar las medidas y los cálculos posteriores.

Comentaremos únicamente dos de ellos, estableciendo una comparación entre ambos, comentando la viabilidad, coste e instrumentación necesaria de cada uno de los métodos.

- Determinación del acimut de una dirección mediante el cálculo del acimut del Sol.

- A partir de las coordenadas geográficas de los puntos extremos determinadas por GPS:

En el primer caso a partir del acimut de una dirección de referencia, determinada mediante el método del acimut del Sol, y midiendo el ángulo horizontal entre la referencia y la orientación se obtiene finalmente el acimut de ésta (Figura 3).

El método de reducción de las observaciones necesita de muchos datos para realizarlo (refracción atmosférica, semidiámetro y declinación del Sol), y debe utilizarse un teodolito de precisión al segundo.

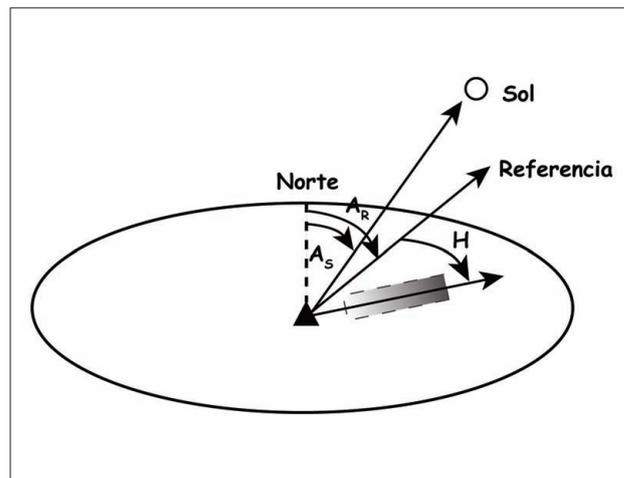


Fig. 4. Ejemplo de determinación de acimutes con GPS.

En el segundo caso, conocidas las coordenadas geográficas de los extremos de una dirección, corrigiendo de la curvatura terrestre y de la convergencia de meridianos (Wolf y Ghilani 2002) obtenemos el acimut de una dirección. Estas coordenadas se obtienen haciendo uso de los diversos métodos de trabajo con GPS (Amado Reino 1999; Rodríguez-Caderot *et al.* 2007). El método de trabajo es simple ya que no se necesita conocer de antemano las coordenadas geográficas de ningún punto. Se estaciona el receptor o receptores GPS en los puntos de interés y en sesiones de observación de unos pocos minutos se obtienen las coordenadas en tiempo real con errores de centímetros (Figura 4).

Este método es mucho más rápido de llevar a cabo, el trabajo de campo es más fácil ya que hay que registrar menos datos y tener en cuenta menos errores instrumentales como en el primer método. La precisión del método va a depender fundamentalmente de la calidad de los equipos GPS que empleemos, siendo aconsejable que sean receptores bifrecuencia, ya que minimizan los errores debidos a la transmisión de la señal mucho mejor que los receptores monofrecuencia. En el caso de utilizar receptores bifrecuencia y redes para transmitir correcciones en tiempo real, la precisión en la determinación de las coordenadas geográficas de los puntos es menor que el centímetro.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

Nuestra breve exposición podría resumirse de la siguiente manera:

1. La Arqueoastronomía es una disciplina emergente en España y con una amplia trayectoria en Europa, pero tiene planteados en este momento problemas de tipo teórico y metodológico.

2. Debe considerarse una rama de la Arqueología, no de la Astronomía, puesto que su objetivo es dar respuesta a preguntas que los arqueólogos puedan plantear sobre la relación que las antiguas sociedades mantuvieron con el cosmos.

3. El marco teórico y epistemológico para lograr este objetivo sería el de la Astronomía Cul-

tural que englobaría, entre otras disciplinas, a la Etnoastronomía, Historia de la Astronomía o la propia Arqueoastronomía.

4. La Arqueoastronomía se ha convertido en un campo analítico encargado de las observaciones y toma de datos topoastronómicos, es decir, en recabar una determinada información que proporciona datos útiles a la Arqueología.

5. Por ello, creemos que debería ser incluida en el marco de la Arqueometría y recibir el mismo tratamiento que, por ejemplo, la Arqueobotánica o la Arqueometalurgia.

6. Ello implica que debe ser rigurosa en la aplicación de los métodos y técnicas específicos que le permiten obtener los resultados previstos.

BIBLIOGRAFÍA

ARCHAEOASTRONOMY, 1979-2002 (M. Hoskin, ed.). Churchill College de Cambridge. Cambridge.

ALCYONE EPHEMERIS 3.5. Alcyone Software

AMADO REINO, X. 1999: *El GPS en Arqueología: Introducción y ejemplos de uso*. Laboratorio de Arqueología e Formas Culturais. Universidad de Santiago de Compostela.

ARQUEOLOGÍA ESPACIAL. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense. 1979-2009.

BELMONTE, J.A. (coord.) 2000: *Arqueoastronomía Hispánica. Prácticas astronómicas en Prehistoria de la Península Ibérica y los archipiélagos balear y canario*. Equipo Sirius, 2^a ed. Madrid.

BELMONTE, J. A.; APARICIO, A. y ESTEBAN, C. 1993: "A Sols-ticial Market in Tenerife: The Majanos in Chacona". *Archaeoastronomy* 18: 65-68.

BELMONTE, J.A.; ESTEBAN, C.; APARICIO, A.; TEJERA, A. y GONZÁLEZ, O. 1995: "Canarian Astronomy before the Conquest: the pre-hispanic calendar". *Revista de la sociedad Canaria para la ciencia* VI: 133-156.

CASTRO, P.; ESCORIZA, T. y SANAHUJA, M. E., 2004: "A la búsqueda de las mujeres y los hombres. Sujetos sociales, espacios estructurados y análisis de materiales en un proyecto de arqueología prehistórica". En M.^a J. Feliu et al. (eds.), *Avances en Arqueometría 2003*. Universidad de Cádiz. Cádiz: 251-259.

CERDEÑO, M.^a L.; RODRÍGUEZ, G.; MOYA, P.; IBARRA, A. y HE-

RRERO, S. 2006: "Los estudios de arqueoastronomía en España: estado de la cuestión". *Trabajos de Prehistoria* 63, 2: 13-34.

CUNLIFFE, B. y RENFREW, C. (dirs.) 1997: *Science and Stonehenge*. Oxford University Press.

DOMÍNGUEZ, F. 1997: *Topografía abreviada*. Mundi-Prensa Libros S.A. Madrid.

ESTEBAN, C. 2009: "La astronomía cultural, ¿es interdisciplinar?. Reflexiones de un astrofísico". En M.^a L. Cerdeño y G. Rodríguez Caderot (eds.), *Arqueoastronomía. Complutum* 20 (2): 69-77.

GARCÍA HERAS, M. 2003: "Malos tiempos para la lírica. ¿Hay todavía un futuro para la Arqueología Científica en la universidad española?". *Complutum* 14: 7-18.

GARCÍA QUINTELA, M. y GONZÁLEZ, C. 2009: "Arqueoastronomía, Antropología, Paisaje". En M.^a L. Cerdeño y G. Rodríguez Caderot (eds.), *Arqueoastronomía. Complutum* 20 (2): 39-54.

HEGGIE, D. C. 1981: "Highlights and Problems of Megalithic Astronomy". *Archaeoastronomy* 3: 17-37.

HOSKIN, M. 1985: "The Talayotic Culture of Menorca: A first reconnaissance". *Archaeoastronomy* 9: 133-151.

HOSKIN, M. 2001: *Thombs, Temples and their Orientations: a new perspective on Mediterranean Prehistory*. Ocarina Books. Bognor Regis.

INNEREBNER, G. 1959: "La determinazione del tempo nella preistoria dell'Alto Adige". *Annali dell' università di Ferrara* XV, 1 (1): 1-21.

- INSTITUTO ASTROFÍSICO DE CANARIAS: (IAC):
www.iac.es/project/arqueoastronomia.
- IWANISZEWSKI, S. 1989: "Exploring some anthropological theoretical foundations for archaeoastronomy". *World Archaeoastronomy*. Cambridge University Press. Cambridge: 27-37.
- 1994: "De la Arqueoastrología a la Astronomía Cultural". *Trabajos de Prehistoria* 51 (2): 5-20.
- 2009: "Por una Astronomía cultural renovada". En M.^a L. Cerdeño y G. Rodríguez Caderot (eds): *Arqueoastronomía. Complutum* 20 (2): 23-37.
- MANIATIS, Y. 2002: "Archaeometry in the third millennium: an integrated tool for the decoding, preservation and dissemination of the Cultural Heritage". *Archaeometry in Europe in the third millennium*. Academia Nazionale dei Lincei. Roma: 61-86.
- MONTERO, I.; GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. 2007: "Arqueometría: cambios y tendencias actuales". *Trabajos de Prehistoria* 64 (1): 23-40.
- RODRÍGUEZ-CADEROT, G.; FOLGUEIRA, M.; CERDEÑO, M.^a L., PASCUAL E.; MEJUTO, J. y RODRÍGUEZ, C. 2007: "Geodetic Works for the documentation and precise georeferentation of the archaeological sites". *Publicaciones del Instituto de Astronomía y Geodesia* 203, 23-2180-182.
- ROVIRA, S.; GARCÍA HERAS, M.; GENER, M. y MONTERO, I. (eds) 2008: *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Madrid.
- RUGGLES, C.L.N. 1984: "A New Study of the Aberdeenshire Recumbent Stone Circles, 1: Site Data". *Archaeoastronomy* 6: 55-79.
- STARRY NIHGT PRO. Imaginova Corp.
- THE SKY ASTRONOMY SOFTWARE. Software Bisque.
- THOM, A. 1954: "The solar observatories of Megalithic Man". *Journal of the British Astronomical Association* 64: 396-404.
- TITE, M. S. 2002: "Archaeometry: if it is not Archaeology, then it is nothing". *Archaeometry in Europe in the third millennium*. Academia Nazionale dei Lincei. Roma: 33-47.
- WOLF, P.R. y GHILANI, C. D. 2002: *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

ESTUDIO ARQUEOASTRONÓMICO DE LA PLATAFORMA MONUMENTAL DE SEGEDA I

ARCHAEOASTRONOMICAL STUDY OF MONUMENTAL PLATFORM SEGEDA I

Francisco Burillo Mozota (1) / Manuel Pérez Gutiérrez (2) / Raúl López Romero (1)

(1) Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda

Universidad de Zaragoza

(2) Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca

RESUMEN: La ciudad celtiberica de Segeda (Mara, Zaragoza, España), se extiende por una extensión de 45 ha, siendo el mayor asentamiento pre-romano existente en el Noreste peninsular de la península Ibérica (www.segeda.net). Será destruida por el ejército romano en el año 153 a.C., fecha en la que se data la construcción del peculiar santuario que presentamos. Este santuario esta formado por un larga plataforma de más de 312 m², delimitada por dos muros construidos de largos bloques de piedra de yeso, convergiendo estas en un extraño ángulo de 120°. Su interior se encontraba pavimentado y cubierto por adobes, sin evidencia de la existencia de otras estructuras. Su localización, fuera de la ciudad, próxima a la muralla y sobre un punto topográficamente prominente, refleja su privilegiada posición debido a su visibilidad desde cualquier lugar del entorno. Los estudios arqueoastronómicos que se han iniciado consiste en la realización de un trabajo de campo a partir de un levantamiento topográfico mediante el uso de una Estación total, complementado con una registro fotográfico de 360° del paisaje visible y una medición final de las orientaciones astronómicas.

SUMMARY: The Celtiberian town of Segeda (Mara, Zaragoza, Spain), with more than 45 ha of extension, was the largest pre-Roman settlement that emerged in Northern area of the Iberian Peninsula (www.segeda.net). It was destroyed by the Roman army in the year 153 BC., which let us to date the construction of its peculiar sanctuary before that event. That sanctuary was formed by a large platform of about 312 m², bounded by two walls built of large blocks of gypsum stone that converged in a strange angle of 120°. Its interior was paved and covered by sun-dried bricks, with no evidence of other outstanding structures. Its location, outside the city, next to the rampart and over a topographically prominent point, provided a privileged position because its visibility over its environment. The archaeoastronomical study has started from a fieldwork consisting in topographical survey by means of a topographic total station, complemented with a 360° photographic recording of the visible landscape and a measuring of the astronomical orientations.

PALABRAS CLAVE: Arqueoastronomía, Segeda, solsticio, plataforma.

KEY WORDS: Archaeoastronomy, Segeda, solstice, platform.

I. LA CIUDAD CELTIBÉRICA DE *Segeda*

Apiano de Alejandría (*Iber.*, 44-47) describe *Segeda* como “una grande y poderosa ciudad de los celtíberos llamados belos” y señala como Roma le declara la guerra por haber incumplido los pactos firmados por Graco con los indígenas del valle medio del Ebro en el año 179 a. C. Tito Livio (*per.* 47) precisa que esta guerra fue la causa del traslado de la elección de los cónsules de los idus de marzo al primero de enero, causa del inicio de nuestro calendario actual. También indica Apiano

que Nobilior, al mando de una tropa romana de 30.000 hombres, ataca en el año 153 a. C. a una coalición de 25.000 celtíberos, reclutada por las dos ciudades celtibéricas más importantes del Sistema Ibérico central, *Segeda* y Numancia, el primer enfrentamiento tendrá lugar el 23 de agosto, día de Vulcano. La derrota infringida al ejército romano hará que ese día sea declarado nefasto por Roma. La ciudad de *Segeda* acuñó monedas con su nombre escrito en lengua celtibérica.

Las investigaciones arqueológicas que en la

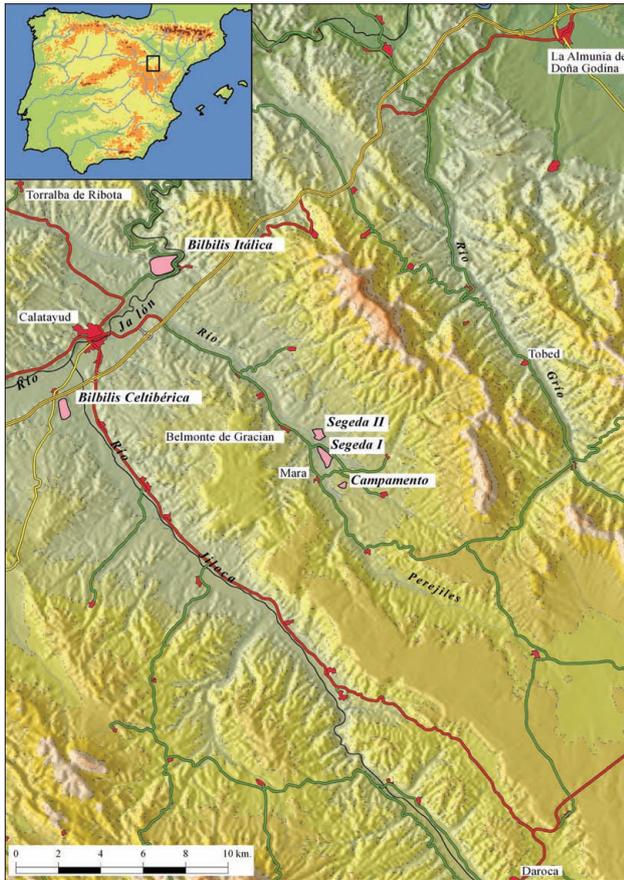


Fig. 1. Mapa de situación de la Zona Arqueológica de Segeda.

actualidad se vienen realizando dentro del “Proyecto Segeda” han identificado esta ciudad en un extenso yacimiento existente en El Poyo de Mara (Zaragoza) (www.segeda.net; Burillo 2007). Sus más de 45 Ha de extensión convierten a esta ciudad en la más extensa de las conocidas en el Norte de la península ibérica. Las excavaciones arqueológicas han permitido identificar el centro de la ciudad en la elevación del Poyo, desde donde su urbanismo se extendió en dirección meridional. La cita de Apiano indicando que obligó a sus vecinos, entre ellos los titos, a formar parte de la ciudad ha sido ratificada arqueológicamente, situando este asentamiento junto a la parte baja de la necrópolis, en la llanura sedimentaria situada a oriente de la misma. Un tramo de la muralla que rodeaba la ciudad ha sido localizado en la zona meridional a unos 800 m del centro de la ciudad. Junto a ella, extramuros de la ciudad, sobre una elevación del terreno destacada se ha identificado restos de una construcción que en su momento se denominó *Plataforma Monumental* objeto de este estudio (Buri-



Fig. 2. Mapa de distribución de las Áreas excavadas en Segeda I.

llo 2006). Un avance de su estudio arqueoastronómico fue presentado al *The European Society for Astronomy in Culture 17 the Annual Meeting: From Alexandria to Al-Iskandariya, astronomy and culture in the ancient Mediterranean and beyond*, celebrado en Bibliotheca Alexandrina, Alejandría – Egipto en Octubre de 2009 (Pérez et al. e.p.).

II. LA PLATAFORMA MONUMENTAL DE SEGEDA

Una fotografía aérea realizada en los años cuarenta mostraba la existencia de una estructura aislada de planta cuadrangular en el extremo meridional de la ciudad de Segeda. Su muro meridional servía de linde de dos fincas, pero la unión de las mismas produjo su destrucción parcial y una acumulación de sillares de grandes dimensiones. La primera excavación dejó al descubierto un basamento de 3,89 m de anchura, lo que unido a los anteriores testimonios y a su proximidad a la muralla llevó a interpretarla como los restos de una estructura de carácter defensivo. Finalidad que fue desechada cuando se continuaron las excavaciones.

Los restos parcialmente descubiertos corresponden a una gran construcción aislada de 312 m² de extensión, cerrada por dos muros, con

una longitud conservada de 12,8 y 20,5 m y tan sólo dos hiladas de altura, contruidos con grandes sillares de yeso, algunos de más de 500 kg de peso, que unen en un ángulo de 120º, hecho inusitado en la arquitectura de esta y otras épocas. Diseño elegido libremente pues no se encuentra condicionado por circunstancias topográficas, ni de otras construcciones previas. El espacio interno de dichos muros se encuentra relleno por una plataforma continua de losas de yeso y caliza trabadas con arcilla. Muros y enlosados fueron nivelados y cubiertos, a su vez, por una plataforma de adobes, de 32 x 64 cm de planta, y arcilla. La acción del arado ha dado lugar a que se destruya parte de esta construcción, tanto las arcillas que la cubren como los muros de piedra y enlosados situados en el extremo norte y suroeste.

Esta estructura si bien se encontraba aislada presentaba junto a ella acumulaciones de arcilla con adobes y carbones con materiales celtibéricos y, en situación próxima, dos extensas oquedades de época imprecisa, rellenas de gravas y cantos rodados. Los fragmentos cerámicos descubiertos son escasos y dispersos, aunque suficientes para relacionar la construcción de esta obra con anterioridad al 153 a. C., fecha de abandono de *Segeda* I. Sobre dichas acumulaciones se realizaron con posterioridad enterramientos pertenecientes a época tardorepublicana/visigoda.

III. ESTUDIO ARQUEOASTRÓNOMICO

Desde el descubrimiento en el año 2004 de la *Plataforma* todos los investigadores que han visitado *Segeda* se han visto sorprendidos por la monumentalidad de la construcción, su desarrollo horizontal, el extraño ángulo de 120º con que unen los muros y su situación aislada en un lugar topográfico muy destacado, en situación inmediata a la muralla que circundaba la ciudad. Todos estaban de acuerdo en que nos encontrábamos ante una obra importante del Estado segedense, pero ninguno supimos definir su función. Únicamente Martín Almagro Gorbea (Almagro-Gorbea y Gran-Aymerich 1991), que había estudiado en el aljibe monumental de Bibracte la importancia de las orientaciones de esta construcción en relación con los elementos destacados del paisaje y los

principales hitos y puntos astronómicos, planteó la necesidad de realizar un estudio arqueoastronómico.

El 24 de abril de 2009 uno de nosotros, Manuel Pérez (2009), cuya tesis doctoral había versado sobre la Arqueoastronomía en el territorio de los vetones se desplazó a *Segeda* para realizar el estudio de la *Plataforma*. El método seguido consistió en realizar un registro fotográfico de 360º del horizonte desde el eje del ángulo del sillar de 120º. En este punto se situó una estación total y con ella se realizó la ubicación topográfica de los principales puntos de la construcción y de los relieves más destacados del entorno. En esta observación se pudo percibir la existencia de una alineación de la bisectriz del ángulo de 120º con el cerro de la Atalaya, un hito muy destacado del paisaje. Se realizó, así mismo, una determinación de la meridiana astronómica por observaciones al sol.

Ya en laboratorio, se procedió a integrar toda la información recogida en campo con los datos astronómicos correspondientes al año 200 a. C., fecha en torno a la cual suponemos que se pudo construir la plataforma. Para lo cual se utilizó el programa de simulación *Starry Night pro plus*, lo que permitió predecir el ocaso del sol en el solsticio de verano sobre el cerro de la Atalaya, y el del equinoccio sobre el cerro de Valderrando, lo cual fue comprobado positivamente.

IV. UNA CONSTRUCCIÓN CON ORIENTACIÓN ASTRÓNOMICA

Los primeros resultados del estudio arqueoastronómico muestran que la extraña orientación de los muros de la plataforma y su ubicación en el punto topográfico más destacado del paisaje junto a la muralla de la ciudad de *Segeda* se deben a razones astronómicas. En el estudio preliminar se han detectado cuatro importantes acontecimientos astronómicos que pueden ser observados desde la plataforma de *Segeda*.

Solsticio de Verano. El solsticio de verano es el día más largo del año y es uno de los días más celebrados en la ritualidad humana, como las estructuras megalíticas de la Edad del Bronce, donde los alineamientos marcan el amanecer, como se

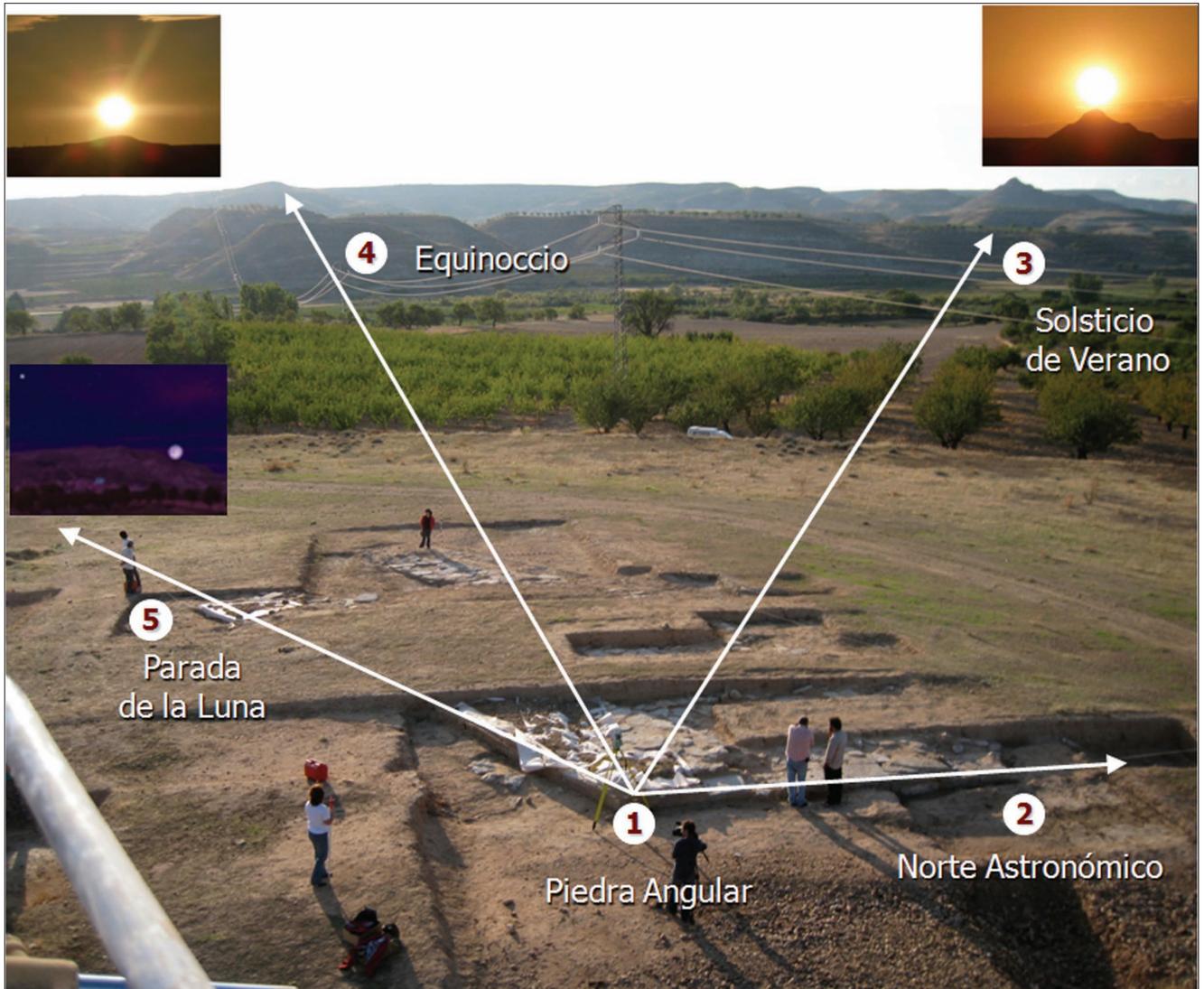


Fig. 3. Principales eventos astronómicos que se han identificado en la plataforma.

comprueba en el caso del sepulcro megalítico de la Menga, donde el sol del solsticio de verano penetra al amanecer hasta el fondo de la cámara. Su celebración ha pervivido hasta nuestros días en las fiestas de San Juan.

En la *plataforma* de Segeda el solsticio de verano queda marcado en su ocaso solar, por la línea que une la bisectriz del ángulo de 120° de la piedra angular en que se unen los muros y la cima del “La Atalaya”, cerro destacado en el paisaje en dirección NW, situado en el término municipal de Belmonte donde se ubica un yacimiento arqueológico que remonta a la Edad del Bronce. El día 21 de junio de 2009 se pudo observar como a las 21, 20 horas el sol se colocaba encima de la cumbre del cerro de La Atalaya, segundos antes del ocaso solar y des-

aparecer en el horizonte. En el año 200 a. C. este fenómeno podría observarse el 26 de junio. Debe señalarse que en el año 200, fecha aproximada de construcción de la plataforma este fenómeno, podría observarse el solsticio el 26 de junio.

Norte Astronómico. El lado menor más oriental de la *Plataforma* está perfectamente orientado en la dirección astronómica Norte-Sur. Si bien el Norte Astronómico es estable en el tiempo, no lo son las estrellas, que por el fenómeno de precesión modifican su posición respecto al observador terrestre. Así, la Estrella Polar marca actualmente el Norte, pero no en la época en que se construyó la *Plataforma* de Segeda. Se está analizando el firmamento de hace 2.200 años para calcular que alineaciones pudieron producirse con este eje.

Equinoccio. Si se marca un ángulo de 90° con el lado del Norte Astronómico, la piedra angular se orienta con el monte de Valderrando, otro de los relieves destacados del horizonte. El programa de simulación previó que el sol se pondría en esta alineación en los equinoccios de otoño y primavera, momento en el que el día coincide en su duración con la noche. Efectivamente, los días 21 de septiembre y 21 de marzo se pudo observar el cumplimiento de dicha predicción.

Ciclo Metónico. Los lados mayores de la *Plataforma* determinan una dirección de acimut astronómico 58°, dirección que coincide con el orto de la luna llena en su parada durante el Solsticio de Invierno. Este suceso astronómico, que se repite cada 19 años, se conoce como Ciclo Metónico, ya que fue el astrónomo griego Metón quién, tomándolo de las poblaciones mesopotámicas, determinó con precisión la adecuación del ciclo lunar al año solar, dando lugar al calendario ático. Impresionados los atenienses por este descubrimiento grabaron el Ciclo Metónico con letras de oro en el templo de Atenas, con ocasión de los juegos olímpicos del año 432 (Bourgoing 2000, 22).

La definición de un momento preciso de este ciclo en los ejes dominantes de la *Plataforma*, lleva a afirmar el conocimiento del Ciclo Metónico por parte de los constructores segedenses, de lo que se deduce el dominio de grandes conocimientos astronómicos. En el año 2009 ha existido una coincidencia entre el solsticio de invierno y la luna llena, habrá que esperar hasta el 2028 hasta volver a encontrar esta coincidencia.

V. LA FUNCIÓN DE LA PLATAFORMA MONUMENTAL DE SEGEDA: OBSERVATORIO ASTRONÓMICO Y SANTUARIO

Queda pendiente la excavación total de esta estructura para poder determinar si hay más marcadores astronómicos, pero con lo ya existente se puede señalar que los constructores segedenses que la erigieron tenían grandes conocimientos geométricos y astronómicos. Lo que en *Segeda* se levantó fue una forma exacta de medir el tiempo, la traslación de un calendario similar al que Metón estableció en Atenas. Nos encontramos, pues, ante la prueba más evidente de que los segedenses par-

ticiparon de los conocimientos científicos que por entonces surcaban el Mediterráneo, desarrollados dentro de la etapa helenística (Burillo, en prensa). Pero *Segeda* nos ha legado algo hasta el presente desconocido y sin paralelos, como es la plasmación física en una gran construcción de un observatorio astronómico para medir el paso del tiempo.

Queda claro que la construcción de la *Plataforma Monumental* de *Segeda* se realizó para reflejar orientaciones astronómicas destacadas teniendo en cuenta la topografía del paisaje circundante. Sin embargo, para obtener estos fines se pudo haber empleado marcadores sencillos como encontramos en la necrópolis de la Osera, junto al oppidum vettón de la Mesa de Miranda (Pérez-Gutiérrez 2009, 151), de esta manera cuatro estelas sustituyendo los extremos de los muros de la *Plataforma* tendrían similar función. O como también se ve en el dudoso caso del oppidum alemán de Glauberg, en donde la huella de 16 postes estudiados por el astrónomo Bruno Deiss han sido interpretados como un calendario astronómico (Baitinger y Herrmann 2007). En el caso de *Segeda* se realizó una obra monumental, en donde los muros con sillares de yeso sirvieron de límite para enlosar todo su interior y todo ello, muros y losas quedaron cubiertos con adobes. Desconocemos si en algún punto de la plataforma existió elementos elevados, pero en lo excavado hasta ahora no se han detectado, por lo que todo hace pensar que se primó la horizontalidad. Esto es, se construyó un amplio espacio de 312 m², en las dimensiones actualmente conocidas, en un lugar topográficamente destacado donde realzar las ritualizaciones vinculadas con los acontecimientos astronómicos señalados.

Se puede concluir que nos encontramos ante un santuario de características constructivas hasta ahora inéditas, y que contrasta con la ritualidad conocida en las culturas mediterráneas, en donde dominan los templos. La estructura descubierta en *Segeda* es abierta, carente de techumbre y su construcción se ha realizado con clara orientación con el ocaso solar, tanto con el solsticio de verano como con los dos equinoccios, lo cual ha llevado a denominarlo como "Santuario del Sol". *Segeda*, comparte de esta manera la importancia que tuvo

el sol en la religión celtibérica, tal como lo atestigua la iconografía de las placas repujadas localizadas en las necrópolis de Numancia y Arcóbriga, y la de la cerámica numantina (Burillo y Burillo e. p.).

VI. CONCLUSIONES

La *Plataforma Monumental* situada extramuros de la ciudad corresponde a un observatorio astronómico en donde se percibe la plasmación del calendario lunisolar ático, dada la clara orientación de uno de sus lados con el ciclo de Metón. Pero la vinculación de la construcción con el ocaso solar de los equinoccios y del solsticio de verano en puntos destacados del paisaje nos muestra el especial énfasis que estos celtíberos pusieron en la ritualidad con el sol, la cual se halla presente en las co-

munidades celtibéricas, al menos, desde el siglo IV. La forma de resolver esta ritualidad carece de paralelos, pues no es un templo techado, sino una plataforma con desarrollo horizontal orientada hacia el ocaso solar, de ahí que se haya decidido denominarlo como “Santuario del Sol”.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla dentro del Grupo de Excelencia *Hiberus* y del Proyecto I+D: HAR2008-04118/HIST (“*Segeda* y Celtiberia Septentrional: investigación científica, desarrollo rural sostenible y nuevas tecnologías”), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y los fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO[GORBEA, M. y GRAN[AYMERICH, J. 1991: *El Estanque Monumental de Bibracte*. Ed. Complutense.
- BAITINGER, H. & HERRMANN, F.-R. 2007: *Der Glauberg horas Ostrand der Wetterau*. Arco. Denkmäler Hessen 51, Ed. Wiesbaden.
- BOURGOING, J. de 2000: *The Calendar Measuring Time*. Thames & Hudson.
- BURILLO MOZOTA, F. 2006: “La ciudad estado de *Segeda I*”. En F. Burillo (ed.), *Segeda y su contexto histórico. Entre Catón y Nobilior (195 al 153)*. Fundación *Segeda*, Mara (Zaragoza): 203-240.
- BURILLO MOZOTA, F. 2007: “El Proyecto *Segeda*”. En N. Alonso et al. (ed.): *Primera Trobada d’Associaons d’Amics del Patrimoni Arqueològic. Funció i rol social en el segle XXI*, Arbeca (2007): 31-50.
- BURILLO MOZOTA, F. e. p.: “Influjos helenísticos en la ciudad celtibérica de *Segeda I*”. *Paleohispánica 10, Homenaje a Javier de Hoz*
- BURILLO-CUADRADO, M.ª P. & BURILLO-MOZOTA, F. e. p.: “Astronomy in culture in celtiberian iconography”. *The European Society for Astronomy in Culture 17 the Annual Meeting: From Alexandria to Al-Iskandariya, astronomy and culture in the ancient Mediterranean and beyond* (Bibliotheca Alexandrina, Alejandría - Egipto, Octubre 2009).
- PÉREZ GUTIÉRREZ, M. 2009, “Astronomía y Geometría en la Vetonia”. *Complutum 20.2*: 141-164.
- PÉREZ, M.; BURILLO, F.; LÓPEZ, R. y ARENAS, J., e. p.: “The sacuari of the celtiberian town of *Segeda* and its astronomical orientations”. *The European Society for Astronomy in Culture 17 the Annual Meeting: From Alexandria to Al-Iskandariya, astronomy and culture in the ancient Mediterranean and beyond* (Bibliotheca Alexandrina, Alejandría - Egipto, Octubre 2009).



PÓSTERS



PÓSTERS BIOMATERIALES

Y ESTUDIOS PALEOAMBIENTALES

FITOLITOS Y OTROS MICROFÓSILES EN LA PREHISTORIA DE CANARIAS, UNA PROPUESTA METODOLÓGICA DESDE LA MICROARQUEOLOGÍA

PHYTOLITHS AND OTHER MICROFOSSILS IN THE PREHISTORY OF THE CANARY ISLANDS, A METHODOLOGICAL PROPOSAL FROM THE MICROARCHAEOLOGY

José A. Afonso Vargas

Dpto. de Prehistoria, Antropología e Historia Antigua y Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna

RESUMEN: El estudio conjunto de microfósiles de origen vegetal como fitolitos (sílice y oxalatos) y microalgas silíceas (diatomeas y quistes de crisofitas), así como de otros de origen animal, como las esferulitas de fauna herbívora, permite recuperar información existente a nivel microscópico, en muestras de materiales arqueológicos relacionados con la Prehistoria de Las Islas Canarias, insertando los datos obtenidos en temas como la explotación del medio vegetal, la alimentación, las condiciones ambientales de los asentamientos humanos e incluso la presencia de fauna herbívora en los mismos. Se ha utilizado un método de tratamiento que permite la extracción conjunta de todos estos tipos de microfósiles, basado en otros métodos de tratamiento anteriores y que garantiza el estudio cualitativo y cuantitativo de los conjuntos microfósiles detectados. La versatilidad del método, el gran número de evidencias que pueden recuperarse y la valoración de éstas desde el estudio de plantas y materiales de referencia, permite proponer un concepto, de investigación arqueológica, que podría denominarse Microarqueología.

SUMMARY: The joint study of microfossils of plant origin and phytoliths (silica and calcium oxalate) and siliceous algae (diatoms and crisophicean quists) as well as other animal, such as spherulites from herbivore faunal, to retrieve existing information on the microscopic level, in samples of archaeological material relating to the prehistory of the Canary Islands, inserting the data on issues such as exploitation of the plant, food, environmental conditions in human settlements and even the presence of herbivorous animals in them. It has been used a method of treating joint that allows the extraction of all these types of microfossils, based on other previous treatment methods and guarantees the qualitative and quantitative study of microfossils detected sets. The versatility of the method, the large number of evidences that can be recovered and the evaluation of it from the study of plants and reference materials, can pose a concept, of archaeological research, that might be called Microarchaeology.

PALABRAS CLAVE: Microfósiles, Prehistoria de Canarias, silicofitolitos, oxalatos de calcio, Microarqueología.

KEY WORDS: Microfossils, Prehistory of Canary Islands, silicaphytolith, calcium oxalates, Microarchaeology.

I. INTRODUCCIÓN

Existe la posibilidad real de evaluar, a nivel microscópico, el grado de antropización de un sustrato arqueológico, recurriendo a la localización de elementos resultantes de la desintegración de tejidos vegetales, de la presencia de organismos vegetales acuáticos e incluso de las heces fecales de mamíferos herbívoros. Para ello es necesario plantear objetivos similares a los propuestos por Chaline (1982) al respecto del estudio de sedimentos naturales y arqueológicos, dado que pueden contener no sólo evidencias culturales, en forma de in-

dustrias asociadas a determinados procesos históricos y naturales, sino además fósiles y microfósiles que permiten identificar los cambios ambientales acaecidos en tiempo y espacio en una zona. A nivel arqueológico, dichos microfósiles incluso permiten identificar actividades humanas como las relacionadas con la explotación del medio vegetal, como la alimentación, fuente de energía e industrias, etc. En la actualidad los microfósiles vegetales que pueden localizarse en suelos y sedimentos —también en residuos bioantropológicos— son, además de los gránulos de polen, los fitolitos (sílice y oxalatos), las microalgas de esqueleto y

elementos de resistencia silíceas (diatomeas y criosofitas), así como otros, en este caso ya de origen vegetal como las esferulitas de fauna herbívora. Sin embargo su estudio, aunque puede realizarse de forma cualitativa, identificando formas, tamaños, ornamentación y en algunos casos propiedades ópticas (birrefringencia), solamente el estudio paralelo de sustratos naturales, donde aparecen depositados similares microfósiles, de forma natural, puede permitirnos evaluar concentraciones significativas, propias de prácticas prehistóricas, donde medie el almacenamiento, transformación y consumo de materias vegetales. En el caso de los fitolitos, su distribución en el mundo de las plantas es desigual, siendo, en el caso de los de base silícea muy evidentes en familias botánicas como las gramíneas (*Poaceae*), las palmeras (*Phoenix* y otros géneros), las ciperáceas y las compuestas (*Asteraceae*), para el caso de Canarias también las lauráceas (*Lauraceae*) y las boragináceas (*Boraginaceae*), tal y como hemos comprobado en estudios preliminares (Afonso 2004). Sin embargo, las concentraciones de oxalatos de calcio, que también conforman un importante grupo de biomineralizaciones aunque no con las propiedades de conservación de los silicofitolitos, están más presentes en el mundo vegetal que los primeros, siendo muy abundantes en los tejidos de especies leñosas como los pinos (*Pinus* sp.) y brezos (*Myrica* sp.) pero también en numerosos géneros botánicos (Simkiss y Wilbur 1989). Los métodos de recuperación actuales en pocos casos contemplan la recuperación integral de todos los microfósiles mencionados, en concreto porque los de base silícea (silicofitolitos) suelen acaparar —por sus propiedades inalterables en el tiempo y capacidad informativa— la mayoría de ellos; pero al requerir de tratamientos muy agresivos, bajo la conjunción de reactivos ácidos fuertes (HCL+HNO₃), se destruyen los de base no-silícea, como oxalatos y esferulitas, en este último caso de base carbonatada. No obstante, los protocolos diseñados al efecto, y puestos en marcha por Pinilla y Bustillo (1997), Juan-Tresserras (1997) y Korstanje y Babot (2005) permiten tal propósito, al no contemplar el uso de reactivos ácidos, o en todo caso del acético glacial, que en baja concentraciones mantendría dichas partículas sin destruirlas.

Para la evaluación de un método de extracción integral, que además tuviese como puntos positivos el bajo coste y capacidad, no sólo de identificación cualitativa sino cuantitativa (microfósiles totales por gramo de muestra), se optó por seguir el protocolo de confección descrito por Bárcena y Flores (1990) para la cuantificación de microfósiles de base silícea, en especial microalgas. Finalmente, en el protocolo de actuación, no se consideró el empleo de líquidos pesados para la concentración de microfósiles en una sola fracción (Albert *et al.* 1999; entre otros), sin descartar, en posteriores estudios, su utilización. Se llegó a tal conclusión tras comprobar el grado de calidad alcanzado en las preparaciones que permiten la observación microscópica, donde las partículas minerales no entorpecían el estudio de parámetros ni la concentración por grupos de las de tipo biogénico, es decir los microfósiles ya descritos (Figuras 1 y 2).

Con la posibilidad de estar ante un protocolo de alto espectro arqueobotánico, se aplicó éste a materiales arqueológicos de la Prehistoria de Canarias, que como se sabe resulta de las más recientes de la órbita mediterránea y africana, no siendo, dichos materiales, más antiguos de la segunda mitad del I Milenio a. C. Se trata en todo caso de una prehistoria donde culturas aborígenes, cuya llegada y desarrollo se encuentra en fase de investigación actual, afrontan la subsistencia en contextos insulares de amplia diversidad ambiental. Las Islas Canarias poseen uno de los más altos índices de endemismos y plantas nativas, de muy diversa naturaleza botánica, caracterizándose en especial por estar adaptadas a pisos bioclimáticos con gradientes altitudinales muy acusados, donde existen distintos niveles como el de vegetación xérica, bosque termófilo, laurisilva, pinares y finalmente, en algunas Islas, de una muy específica flora de alta montaña. Para este medio tan diverso, aunque limitado en muchos casos, hubo desiguales respuestas socioeconómicas, sin duda una de ellas, quizás la más elemental y lógica, fue que existirá una complementación, en su explotación, de plantas nativas con las introducidas por dichas poblaciones prehistóricas. Tal y como atestiguan trabajos arqueobotánicos basados en

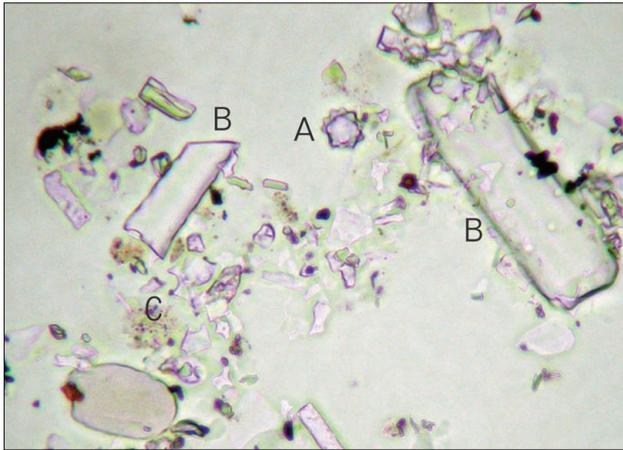


Fig. 1. Imagen de silicofitolitos (A: Palmácea, B: *Poaceae*, C: fragmentos *Poaceae* cultivadas) preparación microscópica de sedimento de La Cerera tras haber aplicado el protocolo descrito (400x).

el estudio de semillas y frutos (Morales 2006), como de carbones (Machado y Galván 1998) en contextos arqueológicos de Gran Canaria, Tenerife y La Palma, tal conjunción es cierta y atestigua un gradual dominio del medio, no sólo para explotar aquellas especies vegetales que, como el pino canario (*Pinus canariensis*) y la palmera canaria (*Phoenix canariensis*) ya estaban presentes en las Islas, sino además para implantar sistemas de cultivo intensivo, basados en cereales, leguminosas y algunos frutales (*Ficus carica*). Obviamente, dicha explotación vegetal deriva en restos que quedan depositados en estructuras de combustión, sedimentos y residuos (industrias y bioantropológicos). Adoptar una metodología de estudio integral, que valorara el conjunto de microfósiles totales de una muestra, parecía un objetivo alcanzable y sobre todo insertable en el resto de técnicas analíticas de la investigación arqueológica actual en las Islas. No obstante, dada la alta capacidad explicativa del método propuesto, basada a su vez en un amplio rango microscópico, puede decirse que permite la evaluación inicial de cualquier material, de cualquier cronología y periodo cultural de la Prehistoria.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales analizados pertenecen a yacimientos arqueológicos de secuencias prehistóricas de Gran Canaria (La Cerera, Arucas), La Palma (El Tendal, San Andrés y Sauces) y Tenerife

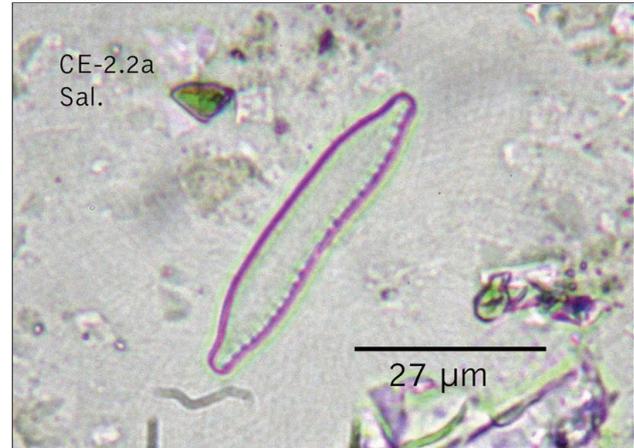


Fig. 2. Diatomea en sedimento de La Cerera (600x).

siendo, en los dos primeros casos, sedimentos de distintos niveles y zonas de ocupación. Sólo un caso corresponde a residuos intestinales, recuperados de restos humanos parcialmente momificados de Las Cañadas del Teide (Cueva de enterramiento). Las cronologías propuestas para estos materiales los sitúan entre los siglos IV/V y VIII d. C. para La Cerera (González *et al.* 2009). Con respecto a El Tendal y asumiendo la problemática existente en las Islas para con las dataciones absolutas, se plantean entre los siglos III-V d. C. (carbono 14) pero atrasándola hasta el siglo IV a. C. mediante termoluminiscencia (Soler Javaloyes *et al.* 2002). Y entre los siglos X-XV d. C. para el caso de Las Cañadas (provisional).

La metodología empleada con el tratamiento de muestras retoma, en realidad, buena parte de la experiencia existente, al inicio de esta investigación (2002), en el tratamiento, extracción y valoración de registros microfósiles en diferentes materiales, como sedimentos y otros materiales arqueológicos (restos humanos y residuos), y suelos. De este modo, los primeros análisis con materiales arqueológicos y naturales de las Islas Canarias (plantas) siguieron el trabajo realizado por Juan-Tresserras (1997), para el estudio de materiales semejantes, pero insertos en contextos prehistóricos y biogeográficos de la Península Ibérica. Los métodos de tratamiento y extracción de microfósiles, empleados por este investigador, se llevaron a cabo siguiendo el objetivo de no perder

ninguno de los dos tipos mayoritarios de microfósiles, basados por una parte en sílice amorfo (sili-cofitolitos, diatomeas, quistes de crisofitas y espículas de esponjas) y de oxalatos de calcio. Siendo, en este último caso, donde se precisa de un tratamiento químico muy somero, sin emplear reactivos ácidos fuertes, si se busca recuperarlos del material tratado. Desde dicha perspectiva, el método puede considerarse idóneo y de alto valor microarqueológico. En la misma línea, se empleó el descrito por Pinilla y Bustillo (1997), muy similar al anterior, y que percibe la materia orgánica —presente en la mayoría de muestras de suelos y sedimentos—, como principal elemento a neutralizar mediante el tratamiento de limpieza. Lo cual ha sido totalmente comprobado.

Al respecto de la necesaria colección de muestras de referencia, debe considerarse un fundamental paso previo para realizar una acertada valoración cualitativa y cuantitativa del registro microfósil, sobre todo en uno basado en partículas biominerales, generadas por las plantas, pero también por animales superiores, como ocurre con las esferulitas de fauna herbívora. Y también con organismos inferiores, como en el caso de las espículas de esponjas. En este caso, los tratamientos pasan por los igualmente descritos por Juan-Tresserras (1997), Pinilla y Bustillo (1997) y Albert *et al.* (1999), con aplicación y planteamiento experimentales, aplicados al caso de las Islas Canarias, citados anteriormente (Afonso 2004).

Los materiales analizados corresponden en todo caso, a muestras de cronologías de la etapa cultural aborígen en algunas de las islas que forman el Archipiélago de Canarias, tanto de Tenerife (restos bioantropológicos de Las Cañadas del Teide), de Gran Canaria (sedimentos de La Cerera, Arucas) y de La Palma (sedimentos de El Tendal, San Andrés y Sauces).

El método empleado presta especial importancia a la oxidación de materia orgánica, tomada como el elemento cementante más importante en suelos y sedimentos. Aspecto que ha sido comprobado tras numerosas pruebas experimentales, donde se apreció como la dispersión de arcillas, segundo aspecto más importante del método emple-

ado, era la óptima solamente tras haber neutralizado el efecto aglutinador de la materia orgánica, sobre las partículas que forman la textura de dichos materiales. Pasamos en realidad así a comprobar hechos ya planteados en los métodos descritos por Juan-Tresserras (1997), Pinilla y Bustillo (1997), Korstanje y Babot (2005), e igualmente al comprobar que solamente realizando estas tareas era posible dotarnos de muestras convenientemente tratadas para realizar un estudio microfósil sobre ellas. Quedando pendiente, o evitándolo por el momento, aplicar tratamiento ácidos lesivos para el grupo de microfósiles formado por oxalatos de calcio o en su estado, ya alterados por calor, de pseudomorfos de calcita, y de carbonato cálcico (esferulitas de fauna herbívora), como el que se contempla por Albert *et al.* (1999) y otros autores (Madella *et al.* 2005; entre otros), pero que sin embargo resulta idóneo para la recuperación de todos aquellos de base altamente silicificada.

Las muestras, ya libres de materia orgánica son lavadas, secadas y pesadas para comprobar la pérdida de peso tras el tratamiento químico. Tras éste paso se procede a la dispersión y eliminación de la fracción arcilla, para lo cual se aplica el protocolo descrito por Pinilla y Bustillo (1997), consiguiendo separar —por tiempos de caída y temperatura— la fracción arcillas de las restantes, arenas y limos. Una vez logrado este objetivo se procede al montaje de preparaciones siguiendo el método descrito por Bárcena y Flores (1990; entre otros), que permite contar con preparaciones de las cuales se conoce su volumen de extracción, fundamental para realizar estimaciones cuantitativas, extrapolando éstas al volumen de muestra inicial (por lo general 1 gramo).

Con los restos bioantropológicos, en especial con residuos intestinales, se procede de forma similar, oxidando la materia orgánica en presencia de peróxido de hidrógeno (30%) con posible aceleración química según el protocolo de Danielson (1993), para la recuperación de restos vegetales desde paleoheces fecales (coprolitos). En este caso el material no recibe el resto de tratamiento aplicado con sedimentos y suelos, sino que se lava y separa en varias fracciones, dado que pueden aparecer —como ocurre con los coprolitos— elemen-

tos que puedan ser recuperados mediante flotación. El material analizado fue recuperado en la zona isquiática de un individuo adulto, mediante instrumental quirúrgico. Después del básico tratamiento de oxidación de materia orgánica, se realizan preparaciones, que son analizadas al microscopio óptico, permitiendo detectar, en este caso, partículas como las ya citadas, pero relacionadas en este caso con la ingesta directa de productos vegetales.

El estudio microscópico se realiza mediante instrumental óptico, binocular y con una magnificación de hasta 600x en seco y 1500x (inmersión aceite). A nivel microscópico y cualitativo los microfósiles detectados son comparados, en cuanto a sus atributos morfológicos, de tamaño y ornamentación, con los observados en la colección de referencia, realizada sobre más de 200 especies vegetales, pertenecientes a las principales familias botánicas existentes en las Islas Canarias y parte de la cuenca mediterránea. Igualmente se emplean obras de referencia (Rapp y Mullholland 1992; Pinilla y Bustillo 1997; Juan-Tresserras 1997; Machado y Galván 1998; Piperno 2006; entre otros) que permiten una adscripción básica a nivel de grupos vegetales. Para su clasificación morfométrica (forma, tamaño y ornamentación) se atiende a la propuesta ICPN 1.0 (Madella *et al.* 2005). Esto en cuanto a silicofitolitos, mientras que para el caso de oxalatos, esferulitas y microalgas se emplean igualmente resultados de colecciones de referencia vegetales, suelos y sedimentos, así como obras de referencia específica (Korstanje y Babot 2005; Canti 1997; Pla 2001; entre otros).

III. RESULTADOS

Sedimentos

El fundamental estudio de sedimentos arqueológicos se ha revelado como el más apropiado, especialmente para valorar la presencia de prácticas de almacenaje, procesado y transformación de materias primas vegetales. El yacimiento de La Cerera se reveló como profusamente rico en casi todos los microfósiles de base silíceo, siendo especialmente relevantes los silicofitolitos de cé-

lulas largas dendriformes (*elongated long cell dendriform*, ICPN 1.0) pertenecientes a las envueltas florales de granos de cereal, muy probablemente a una variedad de cebada vestida (*Hordeum vulgare*), pero también otros, como los fitolitos de células buliformes cuneiformes (*buliform cuneiform cell*, ICPN 1.0) pertenecientes a las hojas de gramíneas silvestres hidrófilas, con muchas similitudes con las presentes en el "carrizo" (*Phragmites australis*). Igualmente se hace patente la presencia, en menor proporción de silicofitolitos globulares/esféricos (*globular echinate*, ICPN 1.0) con ornamentación apuntada propios de palmera (Figura 3), muy probablemente de "palmera canaria" (*Phoenix canariensis*). El registro de microalgas silíceas, tanto de diatomeas como de quistes de crisofitas, es especialmente importante en La Cerera, detectándose varias morfologías que, en el primer caso están precedidas por una morfología de simetría bilateral (*pennales*), bicapitada y rafe que parece responder al género *Hantzschia* sp. (Round *et al.*

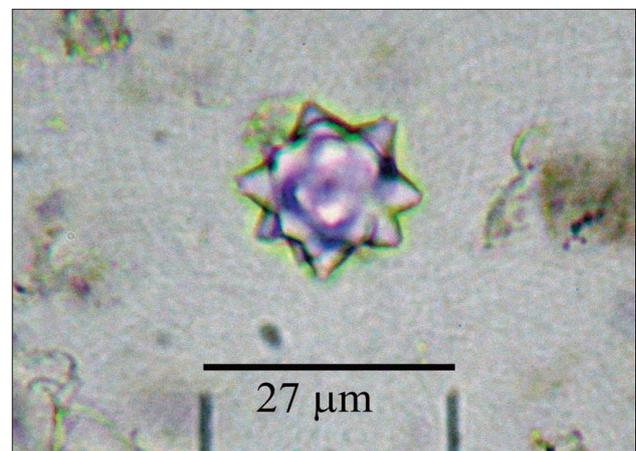


Fig. 3. Silicofitolito de palmera (600x).

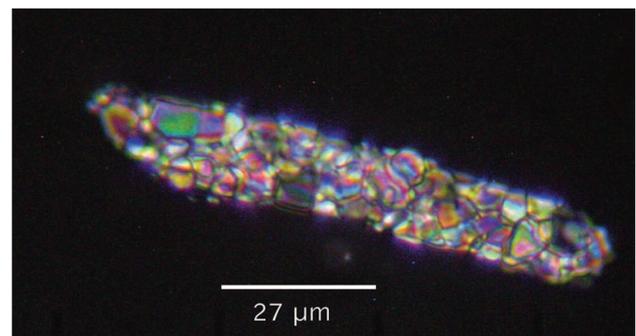


Fig. 4. Pseudomorfo de calcita derivado de un fitolito de oxalato de calcio, probablemente de *Pinus* sp. (600x)

1990; Hartley 1996; entre otros). Los quistes de resistencia de crisófitas pertenecen a varios grupos, entre ellos los de tipo esférico, lisos y collar simple, pero también elípticos con ornamentación de picos y collar complejo, que se ajustan bien a los grupos descritos en varias obras de referencia (Pla 2001; entre otros).

Respecto al yacimiento de El Tendal (La Palma), ha sido fundamental el estudio de sedimentos de algunas zonas, especialmente de aquellas donde se presumía existía una acumulación de restos orgánicos de muy diversa naturaleza. Su estudio microscópico permitió valorar positivamente el protocolo descrito por Pinilla y Bustillo (1997) y Juan-Tresserras (1997), al respecto de la identificación de oxalatos de calcio transformados por calor en pseudomorfo de calcita (Figura 4), muy similares a los observados en los tejidos aéreos de “pino canario” (*Pinus canariensis*), junto con otros microfósiles de base silíceo, especialmente formas alargadas pertenecientes a hojas de gramíneas, y en especial abundantes quistes esféricos y collar simple de crisófitas. Ratificando la idoneidad de una metodología de tratamiento que no contemple la aplicación de reactivos ácidos fuertes, se detectaron igualmente abundantes ejemplos de esferulitas de fauna herbívora (Figura 5) similares a los descritos en obras de referencia (Korstanje y Babot 2005, entre otros; Canti 1997).

Restos bioantropológicos

Por su parte, el residuo intestinal analizado aportó la observación de abundantes ejemplos de

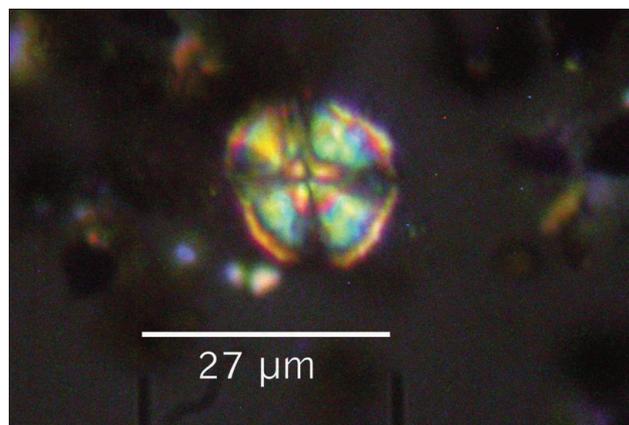


Fig. 5. Esferulita de fauna herbívora (600x).

cubiertas de granos de cereal, en forma de esqueletos silíceos formados por células largas dendriformes y células cortas (Figura 4), con alta probabilidad de pertenecer a cebada (*Hordeum vulgare*), pero también otros tipos de microfósiles, y en concreto fragmentos vegetales aun sin clasificar, así como gránulos de polen, ambos actualmente en estudio.

IV. CONCLUSIONES

La metodología empleada permite asumir la valoración conjunta de microfósiles en contextos arqueológicos, detectando un fundamental grupo de evidencias microscópicas relacionadas con la explotación de plantas, en este caso en la Prehistoria de Canarias. La aplicación de dicho método, a los sedimentos arqueológicos de La Cerera, ha permitido observar la presencia de silicofitolitos pertenecientes a plantas cultivadas (cereales) y nativas (gramíneas y palmáceas), mostrando una clara complementariedad, en la explotación de recursos vegetales, aunque especialmente protagonizado por una economía de producción agrícola, pero en un medio natural donde existía una vegetación propia de la costa y medianías de Canarias, como la palmera canaria. En ese medio igualmente existían condiciones ambientales propicias, con abundantes recursos hídricos, tal y como parecen manifestar la presencia de gramíneas hidrófilas de gran porte. Igualmente la presencia de un importante registro de microalgas, de esqueleto y elementos de resistencia silíceos, ratifica esta última lectura, proporcionando un aporte medioambiental fundamental para interpretar las diversas se-

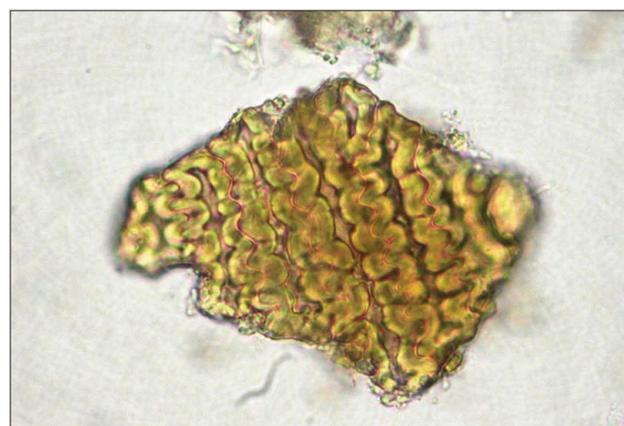


Fig. 6. Esqueleto silíceo de cereal. (400x)

cuencias de ocupación del yacimiento prehistórico de La Cerera.

Por su parte, el estudio de algunas zonas de El Tendal, confirma la mencionada idoneidad del método conjunto, ya propuesto por Korstanje y Babot (2005), al permitirnos observar microfósiles no-silicificados como oxalatos de calcio y esferulitas, que hubiesen resultado destruidos de haber aplicado un tratamiento más agresivo. En este caso, como ocurre en La Cerera, parece indicarnos dicha complementariedad vegetal, pero incorporando la combustión de elementos leñosos de gimnospermas como el pino canario, habitual en la zona norte de la Isla de La Palma, de donde proceden las muestras, desde cierta altitud. Por su parte las esferulitas hacen referencia expresa a la presencia de mamíferos herbívoros, cuya interpretación arqueológica aun se encuentra en elaboración dado que, si bien una primera hipótesis indicaría la posible presencia de ganado en contextos espaciales muy cercanos a los de habitación, habría que estudiar aun la secuencia estratigráfica completa del yacimiento para ratificar ésta.

El análisis del residuo intestinal ha aportado la posibilidad real de indagar, en la ingesta de alimentos de origen vegetal, como parte de alimentación de la población prehistórica de Tenerife, en concreto de cereales y probablemente de otros productos de la misma naturaleza. Su estudio, al contrario que para sedimentos arqueológicos debe matizarse, en cuanto a que nos ofrece información

arqueobotánica directa, permitiendo ahondar a nivel dietético, pero también a nivel socioeconómico y ambiental.

Esta propuesta metodológica, en su base teórica, experimental y de resultados, parece indicar, en definitiva, que es posible su aplicación en la resolución de un capítulo fundamental, aunque menos conocido, del estudio arqueológico, como es el de resolución microscópica sobre materiales relacionados con la Prehistoria, en este caso de las Islas Canarias. Ha sido, por su amplio ámbito de aplicación, de interpretación en la configuración de las estructuras socioeconómicas prehistóricas —con extensión a lecturas paleoambientales desde el gran número de evidencias que permite identificar—, los que me han sugerido el concepto de *Microarqueología*, como un apartado más de la investigación arqueológica actual.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación, y propuesta metodológica, deriva de la fundamental aportación de investigadores como Jordi Tresserras (UB), Ascensión Pinilla (CSIC), Matilde Arnay y Emilio González (ULL), C.D. Arbelo y A. Rodríguez (ULL), así como A. Korstanje (MAT), M.^a A. Bárcena (USAL) y A. Santos (Jardín Botánico La Orotava), así como de numerosos compañeros investigadores que me han aportado muy diversos y necesarios puntos de vista.

BIBLIOGRAFÍA

- AFONSO, J.A. 2004: "Aportaciones del Análisis de Fitolitos, Almidones y otros referentes microscópicos al estudio de la Prehistoria y Arqueología de las Islas Canarias: Resultados Preliminares". *Revista Tabona*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna, 12: 69-96.
- ALBERT, R.M.; LAVI, O.; ESTROFF, L.; WEINES, S.; TSATSKIN, A.; RONEN, A. y LEV[YADUN, S.: "Mode of Occupation of Tabun Cave, Mt Carmel, Israel During the Mousterian Period: A Study of the Sediments and Phytolith", *Journal of Archaeological Science* 26: 1249-1260
- BÁRCENA, M.A., y FLORES, J.A. 1990: "Ensayo de una técnica para la preparación y cuantificación de diatomeas fósiles". En J. Civis y J. A. Flores (eds): *Actas de IV Jornadas de Paleontología*, Ed. Universidad de Salamanca: 75-83.
- CANTI, M.G. 1997: "An Investigation of Microscopic Spherulites from Herbivore Dungs", *Journal of Archaeological Science* 24: 219-231.
- CHALINE, J. 1982: *El Cuaternario. La historia humana y su entorno*. Akal. Madrid.
- DANIELSON, D.R. 1993: *The role of phytoliths in prehistoric diet reconstruction and dental attrition*. Thesis for Degree of Master of Arts. Faculty of the Graduate College at the University of Nebraska. Lincoln. 112 pp.
- GONZÁLEZ QUINTERO, P.; MORENO BENÍTEZ, M. y JIMÉNEZ MEDINA, A. (ed.) 2009: *El Yacimiento Arqueológico de La Cerera. Un modelo de ocupación en la Isla de Gran Canaria*, Cabildo de Gran Canaria, 480 pp.
- HARTLEY, B. 1996: *An Atlas of British Diatoms*, Biopress Limited, Bristol.
- JUAN-TRESSERRAS, J. 1997: *Procesado y preparación de alimentos vegetales para consumo humano. Aportaciones del estudio de fitolitos, almidones y lípidos en yacimientos arqueológicos prehistóricos y protohistóricos del cuadrante NE de la P.I.* Universidad de Barcelona, Tesis doctoral inedita.
- KORSTANJE, M. A. y BABOT, M.P. 2005: "Andean economic plants sphere: vegetal microfossil characterization". En M. Madella, M.K. Jones y D. Zurro (eds.): *Places, people and plants: using phytoliths in Archaeology and Palaeoecology, Proceeding of the 4th International Meeting on Phytolith Research*. Oxbow Books, Cambridge, UK.
- MACHADO, C. y GALVÁN, B. 1998: "La vegetación en el Valle de Chafarí (Las Cañadas del Teide, Tenerife), antes de la conquista castellana". *Cuaternario y Geomorfología* 12: 117-125.
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A. y BALL, T. 2005: International Code for Phytolith Nomenclature 1.0, *Annals of Botany*, mc1172.
- MORALES, J.B. 2006: *La explotación de los recursos vegetales en la prehistoria de las Islas Canarias, Una aproximación carpológica a la economía, ecología y sociedad de los habitantes prehistóricos de Gran Canaria*. Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Ciencias Históricas, Tesis Doctoral (inédita).
- PINILLA, A. y BUSTILLO, M.A. 1997: "Silicofitolitos en secuencias arcillosas con silcretas, Mioceno Medio, Madrid". *Monografías del Centro de Ciencias Medioambientales* 4, CSIC. Madrid: 255-265.
- PIPERNO, D.R. 2006: *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*, Altamira Press, Oxford.
- PLA, J. 2001: *Chrysophicean cysts from the Pyrennes*, J. Cramer, Berlin.
- RAPP, G. Jr. y MULLHOLLAND, S.C. 1992: "A morphological classification of grass silica-bodies". En G. Jr. Rapp y S.C. Mulholland (ed.): *Phytolith systematics. Emerging issues*. Plenum Press. New York: 65-89.
- ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M. y MANN, D.G. 1990: *The diatoms, Biology y Morphology of the genera*, Cambridge University Press.
- SIMKISS, K. y WILBUR, K.M. 1989: *Biom mineralization, Cell Biology and Mineral Deposition*, Academic Press, U.S.A.
- SOLER JAVALOYES, V.; NAVARRO MEDEROS, J. F.; MARTÍN RODRÍGUEZ, E. y CASTRO ALMAZÁN, J. A. 2002: "Aplicación contrastada de técnicas de datación absoluta al yacimiento "Cueva de Tendal", isla de La Palma, (Islas Canarias)". *Tabona* 11: 73-86.

ALTERACIONES BIOLÓGICAS DE LA MADERA: EL ESTUDIO DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS DEL YACIMIENTO DE PLETA DE L'ESTALL SERRER (VALLE DEL MADRIU, ANDORRA)

BIOLOGICAL ALTERATIONS OF THE WOOD: THE STUDY OF THE CONSTRUCTIVE MATERIALS OF THE PLETA DE L'ESTALL SERRER SITE (MADRIU VALLEY, ANDORRE)

Itxaso Euba Rementeria (1) / *Ethel Allué Martí* (2) / *Josep Maria Palet Martínez* (3)

(1) *Geolab UMR 6042 CNRS; Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC)*

(2) *Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES), Universitat Rovira i Virgili*

(3) *Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC)*

RESUMEN: *El análisis antracológico, dendrológico y tafonómico de tres estructuras pastoriles de época moderna del yacimiento de Pleta de l'Estall Serrer (valle del Madriu, Andorra) situado a 1.980 m de altitud, nos muestra una presencia casi absoluta del pino tipo negro y la presencia puntual de taxones arbustivos como las ericáceas. Se trata de especies típicas en un bosque subalpino de pino negro. La presencia casi absoluta del pino, nos ha permitido observar diferentes alteraciones de la madera que nos han proporcionado una gran información sobre el uso de la madera, sobre todo las alteraciones por microorganismos. Hemos podido distinguir varios tipos de alteraciones causadas tanto por insectos xilófagos e hifas de hongos. Además, hemos identificado algunos individuos de termitas subterráneas tanto vivas como carbonizadas. Las primeras son termitas que atacan la madera arqueológica durante los procesos postdeposicionales y las termitas carbonizadas seguramente fueron la causa del deterioro de las estructuras y su posterior destrucción a través de su incendio.*

SUMMARY: *Charcoal analysis, taphonomy and dendrology on three modern pastoral structures from Pleta de l'Estall Serrer site (Madriu valley, Andorra) situated at 1980 meters a.s.l., shows us an almost absolute presence of mountain pine and the presence of bush taxa like Ericaceae. These are typical species in a subalpine forest. The almost absolute presence of this pine, has allowed us to observe different alterations of the internal structure of the wood, mainly alterations related to microorganisms. We have been able to distinguish several types of this alterations caused by xylophagous insects and hyphae of fungi. In addition, we have been able to distinguish also some individuals of underground termites, alived and carbonized. The alives ones attack the archaeological wood during the postdepositional processes and the carbonized ones were surely the cause of the deterioration of the pastoral structures and their posterior destruction by fire.*

PALABRAS CLAVE: *Tafonomía, dendrología, alteraciones por microorganismos, estructuras pastoriles, época moderna, piso subalpino.*

KEY WORDS: *Taphonomy, dendrology, microorganism alterations, pastoral structures, modern age, subalpine stage.*

I. INTRODUCCIÓN

La antracología o el estudio de carbones y maderas recuperados en yacimientos arqueológicos se han basado tradicionalmente en la identificación taxonómica. Recientemente, sin embargo, son cada vez más numerosas las observaciones de otro tipo de caracteres de la estructura anatómica a través de la dendrología (el estudio de los anillos de crecimiento) o la tafonomía (el análisis de las diferentes alteraciones de la estructura de la ma-

dera o carbón). Este tipo de observaciones han demostrado claramente que aportan una información muy importante al análisis antracológico.

Uno de los objetivos de este trabajo es conocer el tipo de madera utilizada para diferentes actividades pastoriles tales como la construcción o el uso del combustible. Asimismo, el estudio antracológico nos permite reconstruir la vegetación del entorno del yacimiento estudiado. La observación de las alteraciones desde una perspectiva ta-

fonómica y en este caso una observación más detallada de las alteraciones por microorganismos, no sólo nos revelará el tipo de madera utilizada sino otros aspectos tales como sus condiciones y la causa de la destrucción de las estructuras.

II. EL YACIMIENTO DE PLETA DE L'ESTALL SERRER

Pleta de l'Estall Serrer se encuentra en la cabecera del valle del Madriu (Escaldes-Engordany, Andorra) a unos 2.060 m de altitud, en el área donde confluyen el camino del Madriu (GR 11) y la vía que desciende de la collada de la Maiana al Madriu y que comunica este valle con el de Perafita, situado más al sur. El yacimiento está formado por varias estructuras ganaderas de cronología moderna siendo la dominante un gran cercado o *pleta* (ES 197) reutilizado hasta inicios del siglo pasado. El conjunto revela además trazas de estructuras anteriores relacionadas con un *orri* (conjunto de estructuras relacionado con la producción de queso) y cabañas pastoriles de diferentes épocas. Se trata por lo tanto de un espacio ganadero de larga duración

En este trabajo presentamos tres estructuras modernas fechadas por radiocarbono en el siglo XVIII, en el que hemos documentado un elemento en común: todas ellas presentan niveles de destrucción de la estructura debido a su incendio. Se trata de una *munyidora* o corredor para ordeñar ganado (ES 201) y dos cabañas pastoriles (ES 209 y 211). En dos de las estructuras se recogie-



Fig. 1. Vista general del yacimiento de Pleta de l'Estall Serrer.

ron muestras para su datación por radiocarbono (Tabla 1) (Palet 2008 y 2009)¹.

La vegetación actual que domina el entrono de este yacimiento es una vegetación abierta formada principalmente por pino negro (*Pinus tipo uncinata*) acompañado de especies arbustivas como el enebro (*Juniperus* sp.) en zonas de solana y ericáceas como el rododendro (*Rhododendron ferrugineum*), el arándano (*Vaccinium myrtillus*) o la gayuba (*Arctotaphylos uva-ursi*) en umbría. La zona central del yacimiento se compone por una zona más profunda rodeada por la pleta de gran tamaño y que delimita una zona algo más boscosa. En esta zona central podemos observar una vegetación dominada por prado seco, gramíneas y abundante vegetación nitrófila (Figura 1).

Referencia	Yacimiento	ES	UE	Dat. C14 no cal.	Dat. C14 cal. a dos sigma	Cota	Taxón
Poz-28429	Estall Serrer	201	102	195±30 BP	1730+82 d. C.	2059 m.	<i>Pinus</i> tipo <i>uncinata</i>
Poz-28431	Estall Serrer	209	105	165±25 BP	1771+106 d. C.	2066 m.	<i>Pinus</i> tipo <i>uncinata</i>
Poz-28432	Estall Serrer	209	102	120±25 BP	1810+129 d. C.	2066 m.	<i>Pinus</i> tipo <i>uncinata</i>

Tabla 1. Dataciones por ¹⁴C calibradas (Stuiver *et al.* 2005) obtenidas en el laboratorio de radiocarbono de Poznań (Polonia) por Tomasz Goslar (Palet 2009)².

¹ PALET, J.M. 2008: *Memòria preliminar de les intervencions arqueològiques a la vall del Madriu (Andorra). Campaña del 2007.* Patrimoni Cultural, Aixovall, Sant Julià de Lòria, Andorra (documento inédito).

PALET, J.M. 2009: *Memòria preliminar de les intervencions arqueològiques a la vall del Madriu (Andorra). Campaña del 2008.* Patrimoni Cultural, Aixovall, Sant Julià de Lòria, Andorra (documento inédito).

² PALET 2009 (*op cit.*).

III. METODOLOGÍA

Las tres estructuras ganaderas modernas que presentamos en este trabajo fueron sometidos a sondeos de diagnóstico y se recogieron muestras de sedimento y carbón para su análisis antracológico (Palet 2008 y 2009)³. La metodología de recogida de muestras es la misma que se ha utilizado en este tipo de estructuras de alta montaña (Euba 2009). Se recogieron 4 litros de cada unidad estratigráfica y el resto del sedimento de ese nivel fue sometido a tamizado en seco con un tamiz de 2 mm durante la propia excavación. Igualmente se recogieron a mano aquellos carbones que fueran destinados a datación por radiocarbono y aquellos fragmentos de madera carbonizada o no que presentaran algún tipo de morfología antrópica.

El sedimento fue flotado en primer lugar con un tamiz de 1 mm de luz y a continuación, el resto del sedimento fue tamizado con agua pasando por una columna de tamices de 4 y 2 mm de luz. Una vez secas las muestras procesadas, cada fragmento de carbón se realizó la identificación taxonómica y se observaron los caracteres tafonómicos y dendrológicos. Para la identificación taxonómica, se utilizó el soporte de atlas de anatomía de maderas europeas de Schweingruber (1990). El análisis tafonómico se basó en la observación de diversas alteraciones de la madera que pueden producirse en diferentes momentos de la madera.

Aunque podemos observar varios tipos de alteraciones relacionados con diferentes procesos, hemos decidido reagrupar las alteraciones en 4 tipos de procesos que ocurren durante diferentes fases del material antracológico: las alteraciones relacionadas con el crecimiento de la madera, las alteraciones producidas durante los procesos de combustión de la madera, las alteraciones causadas durante los procesos postdeposicionales y las alteraciones causadas por microorganismos (Euba 2009). Estos últimos pueden producirse tanto du-

rante el crecimiento de la madera como durante los procesos postdeposicionales, por lo que se consideran aparte de estos dos tipos de alteraciones. A veces, este tipo de alteraciones pueden confundirse con grietas naturales de la madera o con las fisuras producidas durante la combustión, pero si los observamos a través de un microscópico electrónico de barrido, son claramente identificables, porque muestran un tejido vegetal completamente desordenado en el interior de la perforación (Carrión y Badal 2004).

La presencia y una clasificación más exhaustiva de los hongos e insectos xilófagos en carbones y maderas arqueológicas, ya ha sido documentado en otros trabajos anteriores (Badal 2006, Carrión 2005 y 2006, Carrión y Badal 2004, Goszynski y Molski 1969, Théry-Parisot 1998⁴ y 2001). Su aparición esta relacionada con unas condiciones de temperatura y humedad elevadas. Sin embargo, hay tal grado de variabilidad específica de este tipo de microorganismos, que podemos encontrarlos en un amplio rango de condiciones medioambientales (Carrión y Badal 2004). Los microorganismos xilófagos pueden atacar a la madera muerta o viva, por lo que su presencia o ausencia, al contrario de lo que muchas veces se ha pensado en antracología, no significa que se trate de madera muerta (Dufraisse 2006).

Habitualmente, el ataque de los microorganismos se observa en el leño inicial, ya que suele ser más plástico y débil (Carrión 2005). Debido a esto, este tipo de alteraciones puede causar el colapso de células, pues estas se aplastan al perder resistencia a causa del ataque de los xilófagos (Figura 3e). Asimismo, esta parte del leño presenta un aspecto vitrificado que podría estar relacionado con este hecho (Goszynski y Molski 1969, Théry-Parisot 2001).

En lo que se refiere a los hongos o elementos fúngicos que atacan la madera, otros autores han

³ PALET 2008 y 2009 (*op cit.*).

⁴ THERY-PARISOT, I. 1998: *Economie du combustible et Paléocologie en contexte glaciaire et périglaciaire, Paléolithique moyen et supérieur du sud de la France. Anthracologie, Experimentation, Taphonomie*. Tesis Doctoral, Environnement et Archéologie, Academie de Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris.

ES 201								
Taxón	UE 201101	UE 201102	UE 201102B	UE 201103	UE 201105	UE 201106	Total	
							Nº frag.	%
<i>Pinus tipo uncinata</i>	36	10	35	66	36	40	223	91,39
Corteza	-	-	5	1	4	3	13	5,32
Conífera indeterminable	3	1	-	1	-	1	6	2,45
Indeterminable	1	-	-	-	-	1	2	0,80
Total	40	11	40	68	40	45	244	100

Tabla 2. Resultados antracológicos de la ES 201.

llevado a cabo una descripción exhaustiva de este tipo de microorganismos sobre carbones y maderas arqueológicas (Blanchette 2000, Carrión y Badal 2004). Estas hifas que atacan la madera muerta, son identificables en el material antracológico (Figura 3a). Las hifas causan un importante adelgazamiento y pérdida de consistencia de la estructura interna de la madera (Carrión y Badal 2004, Carrión 2005). Suelen atacar a partes que no tienen corteza y se desarrollan más rápidamente cuando las temperaturas son más elevadas o cuando existe una humedad ambiental de entre 70 y 90% (Schweingruber 1996).

Los dos tipos de insectos más abundantes que atacan la madera son las comúnmente conocidas carcomas y termitas. De las carcomas, las dos familias más comunes que pueden atacar a las coníferas son las Anobiidae y las Cerambyidae (Caballol Bartolomé *et al.* 2005). Las primeras atacan a la madera muerta tanto natural como trabajada, mientras que las segundas atacan a la madera tanto viva como muerta. Las carcomas se parecen al escarabajo. Las termitas en cambio, se parecen a las hormigas y son de color blanco. Existen dos clases de termitas: las termitas de la madera seca (*Katoterms flavicolis*) y las termitas subterráneas (*Reticulitermes lucifugus*) (Ibertrac, S.L. 2007). Las hembras de estos insectos suelen depositar huevos en el interior de la madera. Las larvas pueden hacer galerías en vertical pero obligatoriamente para salir al exterior del tronco y aparearse tienen que hacer una galería transversal. Ambos tipos de galerías se pueden ver en los tres planos anatóni-

cos de la madera (Carrión y Badal 2004). La figura 3f es el camino vertical de una larva, por tanto, antes de su madurez sexual. Cuando vaya a salir, su trayectoria será hacia la corteza, por tanto, trayectoria horizontal. En las galerías que forman suelen dejar restos de deposiciones (Figura 3c) y rellenan los agujeros con serrín (Figura 3f).

IV. RESULTADOS

La cuantificación de los resultados taxonómicos está basada en el número de fragmentos, sin embargo se ha tenido en cuenta la presencia/ausencia de los resultados, de modo que todos los taxones identificados han quedado documentados en los resultados.

ES 201 (*Munydora*)

De los 244 fragmentos analizados, un 91,39% corresponden a *Pinus* tipo *uncinata*, 13 (5,32%) son fragmentos de corteza, 6 fragmentos (2,45%) corresponden a algún tipo de Conífera indeterminable y 2 fragmentos no han podido ser identificados (Tabla 2).

En general las alteraciones que observamos no son muy abundantes. Sin embargo, el 22% que representan es significativo, ya que refleja que en general la madera utilizada no sufrió grandes alteraciones. Las alteraciones relacionadas con el crecimiento de la madera representan un 2,5%. Las alteraciones por microorganismos son algo más

significativas. Con respecto a las alteraciones por combustión hemos identificado un 14%. Tenemos que decir que no todo el material estudiado está completamente carbonizado. Hemos recuperado abundantes fragmentos de madera parcialmente carbonizados. Finalmente, las alteraciones postdeposicionales tampoco presentan valores muy elevados (Tabla 3).

ES 201	%
Tipo de alteración	
Crecimiento de la madera	2,45
Microorganismos	3,27
Combustión	14,34
Postdeposicionales	2,86
Total	22,92

Tabla 3. Porcentaje de las alteraciones observadas en la ES 201.

La mayor parte de los restos de madera carbonizada presentan diámetros de gran calibre. Muchos fragmentos de gran calibre recuperados en esta estructura no son carbón sino maderas parcialmente o nada carbonizadas y posiblemente corresponden a la estructura del cercado. Todos los fragmentos de gran formato, incluida una estaca que se ha recuperado casi entera, corresponden a *Pinus* tipo *uncinata* (Figura 2).

El poste o estaca medio carbonizado localizado en la UE 201102 tiene 70 cm. de longitud por 17 cm. de anchura. De hecho, sólo está carbonizada la parte exterior de la pieza. Este poste presenta trazas de uso de un golpe de hacha y una hendidura que parece haberse utilizado para unir el poste con una cuerda. La parte que debió corresponder a la cuerda muestra una superficie lisa y un poco más brillante que el resto si lo observamos a través de la lupa. La pieza presenta una sección circular. La técnica de construcción de la misma fue la obtención de un tronco de unos 24 cm. de diámetro al que se le arrancaron las pequeñas ramas que le salían por los costados. En concreto, hemos observado tres inicios de ramas. La parte que estaba en contacto con el suelo es madera y muestra alteraciones postdeposicionales.



Fig. 2. Detalle de la estaca i poste recuperado en el interior de la munyidora ES 201.

ES 209 (Cabaña pastoril)

En la ES 209 se han analizado 87 fragmentos en total de los niveles de relleno que se encuentran debajo del nivel de ocupación/abandono y encima del sustrato. De estos, un 80,45% corresponden a *Pinus* tipo *uncinata* y 3 (3,44%) a ericáceas de montaña, correspondiendo 2 de ellas a *Vaccinium myrtillus*. El resto corresponde a 4 fragmentos de corteza, a 2 fragmentos de conífera indeterminable y 4 fragmentos indeterminables (Tabla 4). En esta estructura casi todos los fragmentos corresponden a ramas de gran calibre. Cabe mencionar que algunos fragmentos de la UE 209103, no están quemados del todo.

Taxón	ES 209			Total	
	UE 209102	UE 209103	UE 209104	Nº frag.	%
<i>Pinus</i> tipo <i>uncinata</i>	32	33	5	70	80,45
<i>Vaccinium myrtillus</i>	-	2	-	2	2,29
Ericácea de montaña	-	-	1	1	1,14
Corteza	3	-	1	4	4,59
Conífera indeterminable	-	1	1	2	2,29
Indeterminable	1	3	-	4	4,58
Total	40	39	8	87	100

Tabla 4. Resultados antracológicos de la ES 209.

En esta estructura se han observado también pocos fragmentos alterados al igual que en la ES 201, un 22% de los fragmentos analizados presentan algún tipo de alteración. Las alteraciones relacionadas con el crecimiento de la madera y el ataque de microorganismos son los menos numerosos. Las alteraciones postdeposicionales son algo más numerosos aunque tampoco alcanzan un 6%. La vitrificación que se relaciona con la combustión es el tipo de alteración más numeroso que se ha observado en esta estructura, siendo identificado en un 9% (Tabla 5).

ES 209	
Tipo de alteración	%
Crecimiento de la madera	3,44
Microorganismos	3,44
Combustión	9,19
Postdeposicionales	5,74
Total	21,81

Tabla 5. Porcentaje de las alteraciones observadas en la ES 209.

ES 211 (Cabaña pastoril)

En esta estructura se ha estudiado un total de 106 fragmentos de los cuales 93 (87,73%) corresponden a *Pinus* tipo *uncinata*, 3 han sido identificados como Conífera indeterminable y otros 3 pertenecen a fragmento de corteza. Asimismo, 7 fragmentos (6,60%) han resultado indeterminables (Tabla 6). En esta estructura, caso todos los fragmentos analizados son pertenecen a ramas de gran calibre.

En esta estructura, las alteraciones son casi 3 veces más numerosas que en las dos estructuras anteriores. Se ha identificado algún tipo de alteración en un 66% de los carbones analizados. Las alteraciones menos numerosas son las relacionadas con el crecimiento de la madera, un 6% en total. Las alteraciones por microorganismos, debidos a la combustión y postdeposicionales aparecen en un porcentaje que oscila entre 17 y 23%, siendo también en este caso las alteraciones relacionadas con la combustión las más numerosas. (Tabla 7).

ES 211					
Taxón	UE	UE	UE	Total	
	211101	201102	201103	Nº frag.	%
<i>Pinus</i> tipo <i>uncinata</i>	39	36	18	93	87,73
Conífera indeterminable	-	1	2	3	2,83
Corteza	1	2	-	3	2,83
Indeterminable	-	1	6	7	6,60
Total	40	40	26	106	100

Tabla 6. Resultados del análisis antracológico de la ES 211.

ES 211	
Tipo de alteración	%
Crecimiento de la madera	5,66
Microorganismos	16,98
Combustión	22,64
Postdeposicionales	20,75
Total	66,03

Tabla 7. Porcentaje de las alteraciones observadas en la ES 211.

De momento, hemos podido observar varias alteraciones relacionadas con los microorganismos: hifas, perforaciones y canales de microorganismos en el interior de la estructura, restos de defecación o huevos de microorganismos, microorganismos carbonizados y colapso de células (Figura 3).

V. DISCUSIÓN

Los resultados antracológicos nos muestran un porcentaje entorno al 80% de *Pinus* tipo *uncinata* (pino negro) en las tres estructuras analizadas. En la ES 209, también se ha identificado la presencia de ericáceas de montaña entre las que encontraríamos *Vaccinium myrtillus* (arándano). El conjunto de los resultados nos indica una vegetación característica del piso subalpino dominada por bosques de pino negro que se ve acompañado por otras especies arbóreas y arbustivas de afinidad boreoalpina (Euba 2009).

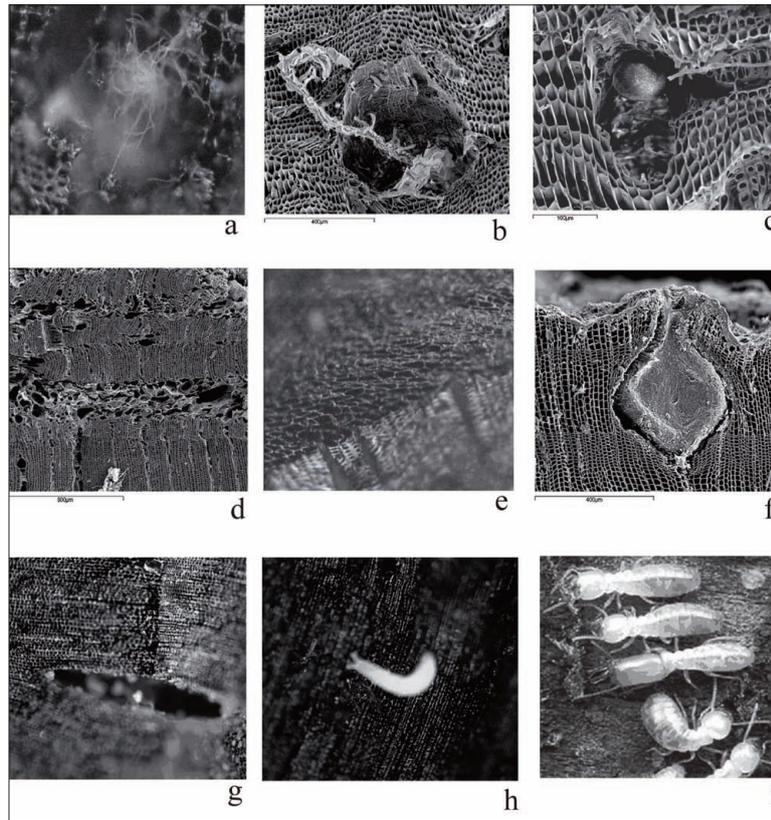


Fig. 3. Diferentes alteraciones por microorganismos observados en el material estudiado: a. Hifa; b. Esqueleto de microorganismo; c. Deposición de un microorganismo; d. Alteración “hoja de libro”; e. Colapso de células; f. Relleno de de una galería por parte de un microorganismo; g. Perforación causada por microorganismo; h. Xilófago vivo recuperado en el material arqueológico; i. Imagen con diferentes tipos de termitas que componen una colonia de termitas⁵.

Los resultados antracológicos nos han demostrado que las estructuras ganaderas están construidas básicamente en madera de pino negro, sobre un muro de base construido en piedra seca. En Pleta de l’Estall Serrer, en la *munyiadora* (ES 201) se recuperó un fragmento de estaca de pino y varios fragmentos de gran formato que también debieron corresponder a la estructura de madera del cercado, todos ellos de pino negro. La estaca se cayó debido a un incendio y la parte inferior que no estaba en contacto con el fuego no se carbonizó. Debido a esto, con los años, esta parte se ha desintegrado debido a la acidez del suelo. La parte superior ha podido conservarse porque estuvo en contacto con el fuego y sufrió la carbonización de su parte exterior.

El pino negro es una madera muy buena para la construcción porque proporciona un

tronco liso. Además, las coníferas en general, debido a que tienen más lignina, aguantan más el deterioro de la madera (Carrión y Badal 2004). Los tejidos lignificados resisten al ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las encimas destructivas en la pared celular. La madera de comprensión de las coníferas, también aguanta más el ataque de los hongos porque tiene paredes celulares más gruesas con altas concentraciones de lignina (Blanchette 2000). Sin embargo, en las construcciones al aire libre y en condiciones de alta humedad, como es el caso de las estructuras pastoriles de Estall Serrer, los microorganismos que se encuentran en la tierra ocupan de manera rápida la madera de las mismas. Esta gran invasión de microorganismos se ha documentado en otras estructuras de construcción de madera de intemperie en otros yacimientos (Carrión y Badal 2004; Carrión 2006).

⁵ Imagen obtenida en noloseytu.blogspot.com.

En los niveles de derrumbe de las cabañas ES 209 y ES 211, se han recuperado básicamente fragmentos de pino de gran formato y en la ES 209, a parte de pino, se han identificado ericáceas. No hemos identificado ningún fragmento correspondiente a enebro. Este taxón no es adecuado para la construcción, pues es un arbusto que además no presenta suficiente madera para los elementos constructivos y su madera no es lisa. Las pequeñas ramas que se obtienen de estos arbustos y de ramas de pequeño calibre de pino recuperados en estas estructuras, puede que estén relacionados con la estructura de cubierta. Sin embargo, también podrían proceder del encendido o avivado de un posible fuego doméstico de estos niveles, que haya quedado totalmente cubierto e irreconocible debido al incendio y posterior destrucción de la estructura. Por lo tanto, para la combustión de hogares domésticos, para la alimentación del ganado o su lecho, se utilizaría la madera de ramas de pequeño calibre de pino, pero también de otras especies arbustivas como las ericáceas.

En las ES 201 y 209 se han observado alteraciones de la estructura de la madera en el 20% del registro total observado, mientras que en la ES 211 se han identificado en un 66,03%. Las alteraciones relacionadas con el crecimiento de la madera son las menos significativas y posiblemente esto se debe al uso de una madera de buena calidad, lisa y verde para la construcción de las estructuras. Las alteraciones postdeposicionales son algo más frecuentes que las anteriores y en el caso de la ES 211 alcanzan un 20%. El mayor porcentaje de las alteraciones son las relacionadas con la combustión. Autores como Scheel-Ybert (1998)⁶ han relacionado la aparición de alteraciones como fisuras y vitrificaciones cuando se produce una combustión de altas temperaturas de madera verde o húmeda. Este incendio pudo ser de origen accidental, aunque el hecho de que se documente en las tres estructuras que posiblemente estuvieron relacionadas, nos hace pensar que fue una acción intencionada. En cuanto a las alteraciones por

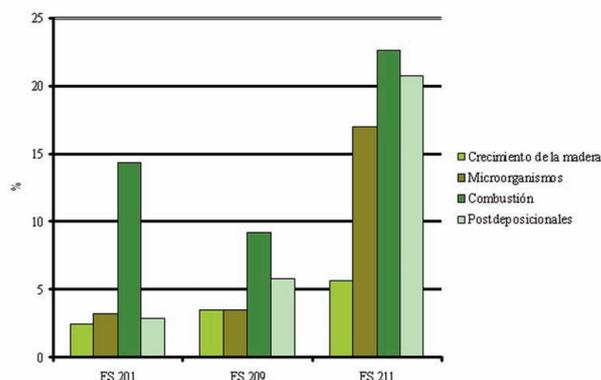


Fig. 4. Alteraciones observadas en las tres estructuras pastoriles modernas (ES 201, 209 y 211) estudiadas.

microorganismos, en las ES 201 y 209 representan un 3,5% y en la ES 211, un 17% (Figura 4).

Los microorganismos que hemos identificado tienen, por un lado, un origen postdeposicional porque en algunos casos hemos observado microorganismos vivos que atacan la madera que aún se conserva en las estructuras arqueológicas. Se trata con claridad de termitas subterráneas (Figura 3h y 3b). La termita más común de la Península Ibérica que ataca los elementos constructivos no móviles (Figura 3i) es la termita subterránea *Reticulitermes lucifugus* (Ibertrac, S.L. 2007). Este insecto ataca maderas con una humedad superior al 22% y de entre un 95 y 100% en el ambiente. Dentro de la madera abre galerías paralelas a la dirección de las fibras dejando entre las galerías verdaderas tiras de madera sin degradar, con lo que adquiere un aspecto característico llamado "hoja de libro" (Figura 3d). Las termitas pueden llegar a habitar en la madera unos 50 años si ésta no se trata.

Por otro lado, también hemos identificado este mismo tipo de microorganismos carbonizados y algunas alteraciones que posiblemente están relacionados con el ataque de la madera antes de que las estructuras sufrieran un incendio. Asi-

⁵ SCHEEL-YBERT, R. 1998: *Stabilité de l'Écosystème sur le Litoral Sud-Est du Brésil à l'Holocène Supérieur (5500-1400 Ans BP) -Les Pêcheurs- cueilleurs_ Chasseurs et le milieu végétal: apport de l'Anthracologie*, Tesis Doctoral, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.

mismo, hemos observado fisuras relacionadas con la salida de los xilófagos una vez terminado su ciclo larvario. Tanto las termitas como las carcomas, suelen cubrir estas perforaciones con excrementos o con serrín de la propia madera (Figura 3f). Este tipo de deposiciones también han sido documentados en otros elementos de construcción de cronologías modernas y contemporáneas (Badal 2006, Carrión y Badal 2004).

En el material analizado, la presencia de señales de ataques de xilófagos es 3 veces mayor al de las hifas. La razón de que hayamos identificado menos hifas, no significa sin embargo que haya menos que insectos xilófagos. Esto puede deberse a que el análisis de los carbones se haya realizado con un microscopio de luz reflejada de 500 aumentos como máximo y los micelios de las hifas hayan pasado desapercibidos debido a su tamaño microscópico. Las alteraciones causadas por insectos, sin embargo, suelen ser claramente visibles a través de un microscopio de este tipo (Carrión y Badal 2004). La presencia de los microorganismos en las 3 estructuras puede ser la razón por la que éstas fueron quemadas. Además, el ataque de insectos xilófagos daría lugar a abundantes agujeros y galerías en el interior de la madera que facilitarían el acceso y la instalación de hongos y bacterias (Blanchette 2000). Posiblemente, la madera presentaba un aspecto degradado que dio lugar a la destrucción mediante el incendio de las estructuras antes de su abandono que, como ya hemos dicho, sería intencional. A pesar de que no hayamos identificado un gran porcentaje de este tipo de alteraciones en el material estudiado, el hecho de que hayamos documentado la presencia de termitas en el material indica que las estructuras se verían gravemente dañadas, pues este tipo de insectos suelen formar colonias muy numerosas y se reproducen muy rápidamente dañando gravemente la estructura interna de la madera. Además se reproducen cuando no hay presencia antrópica en el entorno, pues

huyen de la luz, las vibraciones y el sonido (Ibertrac, S.L. 2007). Por lo tanto, estos microorganismos ocupan el interior de las estructuras durante la ausencia de los pastores en alta montaña.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de las alteraciones de la estructura anatómica del material estudiado nos ha proporcionado una gran cantidad de información suplementaria a la obtenida a través de la identificación taxonómica. A partir de la identificación taxonómica hemos comprobado como las estructuras pastoriles de época moderna se construían con pino negro. Las alteraciones identificadas y los formatos de madera utilizados nos permiten sugerir que se trataría de maderas lisas y verdes. Sin embargo, las condiciones de alta humedad y temperaturas más cálidas del verano y la primavera atraerían a las termitas subterráneas que destrozarían la estructura interna de las cabañas, cercados y *munyidoras* de este yacimiento. Los pastores por lo tanto, al ver dañadas y débiles sus estructuras por microorganismos, quemarían las estructuras alteradas y abandonarían el lugar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al soporte económico y científico del ICAC (Institut Català d'Arqueologia de Catalunya) de Tarragona, del Govern d'Andorra y de la Generalitat de Catalunya (AGAUR programa EXCAVA). El estudio forma parte de un proyecto interdisciplinar más amplio coordinado por el Dr. Josep Maria Palet y el Dr. Santiago Riera titulado *Ocupació del sòl i formes del paisatge de muntanya als Pirineus orientals de l'Antiguitat a l'època medieval: la vall del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*, realizado entre 2004 y 2010. Gracias igualmente a la Dra. Ernestina Badal de la Universitat de Valencia por las correcciones efectuadas sobre el texto.

BIBLIOGRAFÍA

- BADAL, E. 2006: "Nuevas aplicaciones de la antracología o de la identificación botánica del carbón y la madera". *Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría. Avances en Arqueometría (Girona 2005)*: 37-44.
- BLANCHETTE R.A. 2000: "A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments". *International Biodeterioration & Biodegradation* 46 (3): 189-204.
- CABALLOL BAROLOMÉ, D.; PÉREZ MORENO, I.; MARCO MAN-CEBÓN, V. 2005: "La carcoma de la madera de construcción". *Revista Terralia* 47.
<http://www.terralia.com/index.php?revista=47&articulo=331>
- CARRION, Y. y BADAL, E. 2004: "La presencia de hongos e insectos xilófagos en el carbón arqueológico. Propuestas de interpretación". *Actas del V Congreso Ibérico de Arqueometría. Avances en Arqueometría (Cádiz 2003)*: 98-106.
- CARRIÓN, Y. 2005: *La vegetación mediterránea y atlántica de la Península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas*. Servicio de Investigación Prehistórica, Diputación Provincial de Valencia. Valencia.
- CARRIÓN, Y. 2006: "Tres Montes (Navarra, Spain): Dendrology and wood uses in an arid environment". En A. Dufraisse (ed.): *Charcoal Analysis: New Analytical Tools and Methods for Archaeology, Papers from the Table-Ronde held in Basel 2004*. BAR International Series 1483: 83-93.
- DUFRAISSE, A. 2006: "Charcoal anatomy, wood diameter and radial growth". En A. Dufraisse (ed.): *Charcoal Analysis: New Analytical Tools and Methods for Archaeology, Papers from the Table-Ronde held in Basel 2004*. BAR International Series 1483: 47-60.
- EUBA, I. 2009: *Análisis antracológico de estructuras altimontanas en el valle de la Vansa-Sierra del Cadí (Alt Urgell) y en el valle del Madriu (Andorra): explotación de recursos forestales del Neolítico a época moderna*. Serie Documenta 9. ICAC. Tarragona.
- IBERTRAC, S.L. 2007: <http://www.termiract.com/termittas.htm>
- SCHWEINGURBER, 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 dwarfshrubs*. Verlag, Paul Haupt, Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1996: *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Viena. WSL/FNP, Birmensdorf.
- THERY-PARISOT, I. 2001: *Économie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, taphonomie, anthracologie*. Centre National de la Recherche Scientifique, Centre d'études Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge. Paris.

PÓSTERS ANÁLISIS DE MATERIALES

CERÁMICAS

ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS ARCILLOSOS EN LA PREHISTORIA DE MALLORCA (1000-123 a. C.): USOS CERÁMICOS Y NO CERÁMICOS

CLAYS MANAGEMENT IN MALLORCA PREHISTORY (1000-123 BC): CERAMIC & NON CERAMIC USES

Daniel Albero Santacreu (1) / Emilio García Amengual (2)

(1) Grup de Recerca Arqueobaleàr. Univesitat de les Illes Balears

(2) Grup de Recerca Arqueobaleàr. Univesitat de les Illes Balears

RESUMEN: Los estudios centrados en la captación de materias primas arcillosas han focalizado sus esfuerzos en la caracterización de la procedencia cerámica, sin embargo, considerando además otros materiales arcillosos podemos ampliar nuestros conocimientos sobre la gestión realizada por las personas sobre materias primas en territorios concretos. Hemos iniciado la caracterización y comparación formal de materiales arcillosos (cerámicas, adobes, pesas de telar y barro para impermeabilizar cubiertas) procedentes de diversos yacimientos mallorquines ocupados durante el Bronce Final y/o la Edad del Hierro. Metodológicamente hemos combinado el análisis de variables como el color y la textura con análisis mineralógicos mediante difracción de rayos X y petrografía. Finalmente, se han realizado algunos análisis químicos con fluorescencia de rayos X. Las conclusiones confirman que existe un comportamiento diferencial de los recursos seleccionados y utilizados en la confección de la cultura material en base a la distinta tipología de los artefactos. Se propone la existencia de una compleja estrategia de gestión de los recursos en función de la distancia a las materias primas y las necesidades de fabricación y uso de los artefactos. Probablemente, los seres humanos fueron capaces de reconocer y organizar los distintos recursos minerales disponibles en su entorno de acuerdo a distintas necesidades.

SUMMARY: Usually, characterization of pottery raw materials had been focused on provenance studies of clay artifacts. However, considering other archaeological clay materials we can expand our knowledge of people raw materials management in specific territories. We have begun the formal characterization and comparison of clay materials (pottery, adobe bricks, loom weights, and clay to waterproof decks) from various sites occupied during the Mallorcan Late Bronze Age and Iron Age. Methodologically we have combined the analysis of variables such as color and texture with mineralogical analysis by X-ray diffraction and petrography. Finally, there have been some chemical analyses with X-ray Fluorescence. The findings confirm that there is a differential behavior of resources selected and used in the production of material culture based on the different types of artifacts. It proposes the existence of a complex strategy of resource management in terms of distance to raw materials and manufacturing needs and use of artifacts. Presumably, humans were able to recognize and organize the different mineral resources available in them environment to suit different needs.

PALABRAS CLAVE: Materia prima, material de construcción, cerámicas, difracción de rayos X, petrografía, fluorescencia de rayos X.

KEY WORDS: Raw materials, building materials, pottery, X-ray diffraction, petrography, X-ray fluorescence.

I. INTRODUCCIÓN

La arcilla supone una materia prima indicada para fabricar útiles variados. Algunos de los usos generalizados que se han dado a los recursos arcillosos se relacionan con la construcción de estructuras arquitectónicas que se documenta pareja a la aparición de la fabricación de cerámica. De esta manera se constata, ya desde el neolítico, la explo-

tación diferencial de los recursos arcillosos en función del uso que va a tener la materia prima. Los depósitos sedimentarios arcillosos tienen aparentemente las mismas características básicas pero éstos están formados por componentes litológicos que pueden variar enormemente de un depósito a otro y, en menor medida en un mismo depósito. Estas variaciones en la composición determinan también variaciones en las cualidades de los sedi-

mentos. Según sus características físico-químicas, desiguales sedimentos se adaptarán mejor a diferentes usos para los que resultan más adecuados. Existen limitaciones en el uso de cualquier materia prima relacionadas con aspectos físicos y mecánicos que pueden condicionar, limitar o expandir, los procesos de fabricación. Las personas usualmente seleccionan y preparan la materia prima teniendo en cuenta estas propiedades y características (Arnold 2000; Bonzon 2003; Di Pierro 2003; Hein *et al.* 2004; Livingstone 2007: 18; Martineau *et al.* 2007).

Las variaciones en la composición de los artefactos constituyen un reflejo de como los complejos procesos ambientales, tecnológicos y las prácticas culturales afectan a la composición de los objetos. Los recursos arcillosos disponibles en el territorio suelen ser variados, y rara vez se reducen a un sólo depósito. Como ya han señalado otros autores, sólo se podrán afrontar la complejidad de los procesos existentes en su captación a través de la comparación de los materiales y técnicas usados en la producción cerámica frente a los utilizados para fabricar otro tipo de artefactos. Esta comparación formal permite enriquecer el entramado de interrelaciones y transferencias de ideas que se producen entre distintas tecnologías. Sin embargo, este tipo de aproximaciones exige de una visión de la cultura material donde la génesis del objeto no se inicia con la transformación de los materiales sino con su selección (Arnold 2000; Tite 1999; Stark *et al.* 2000).

II. CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

En la realización de este trabajo se han tenido en consideración otros artefactos arcillosos, como pesas de telar, adobes y otros materiales de construcción, que en las memorias de excavaciones se han mencionado pero nunca se ha realizado un estudio detallado. En nuestro estudio realizaremos análisis de materiales recuperados en tres yacimientos mallorquines *Closos de Can Gaià* (Portocolom, Felanitx), *Puig de Sa Morisca* y el *Turó de ses Abelles* (Santa Ponça, Calvià). Estos asentamientos abarcarán un amplio periodo, la Edad del Bronce y la del Hierro, quedando por tanto sin analizar la fase calcolítica. De esta última fase, se tie-

nen los primeros indicios de la gestión de materias primas con fines arquitectónicos e impermeabilizantes documentados en los yacimientos de *Son Oleza* y *Son Baduia*, ambos en Valldemossa, asociados a las cabañas del calcolítico campaniforme. Se trata de nódulos de arcilla que impermeabilizarían las paredes y la cubierta vegetal de dichas estructuras. Por otro lado, también en el Bronce Antiguo, en la estructura *Naviforme Alemany* (Maggalluf, Calvià), se documentaron fragmentos de arcilla con improntas de cañas y esteras asociadas a su uso para impermeabilización de la cubierta, se trataría de nódulos de barro de unos 8 cm de grosor mínimo que impiden la filtración de agua (Guerreiro *et al.* 2007).

El navetiforme I del poblado de *Closos de Can Gaià* se construyó entorno al 1600-1500 a. C. y su abandono se produciría cerca del 800 a. C. Los materiales arcillosos que estudiamos en este artículo proceden de niveles de derrumbe de la cubierta, perteneciente a la última fase de ocupación durante el Bronce Final, entre el 1050 y el 900 a. C. (Guerrero *et al.* 2007). El yacimiento de *Puig de Sa Morisca* es un asentamiento de la edad del Hierro, formado por un poblado en la parte baja y varias torres en la parte alta o castellum. Los materiales proceden de la Torre I, de niveles de derrumbe de un posible muro medianero que se situaría en torno al siglo IV a. C. y de adobes de arcilla procedentes de ámbitos adosados al sector oeste de la muralla del poblado, los materiales hallados nos dan una cronología cercana al siglo II-I a. C. Finalmente, el *Turó de ses Abelles* es un asentamiento costero situado en las proximidades del anterior. Las estructuras de este asentamiento estaban hechas de piedra aunque se documentaron numerosos bloques de arcilla e impermeabilizaciones de cubierta, que hemos analizado, junto a varias pesas de telar. La ocupación de dicho asentamiento se situaría en torno a finales del siglo III a. C. mientras que su abandono se produciría en la primera mitad del siglo I a. C. (Camps y Vallespir 1998).

III. METODOLOGÍA

Se documenta etnográficamente la selección y utilización de recursos minerales de distintas cualidades dependiendo del color, presencia de

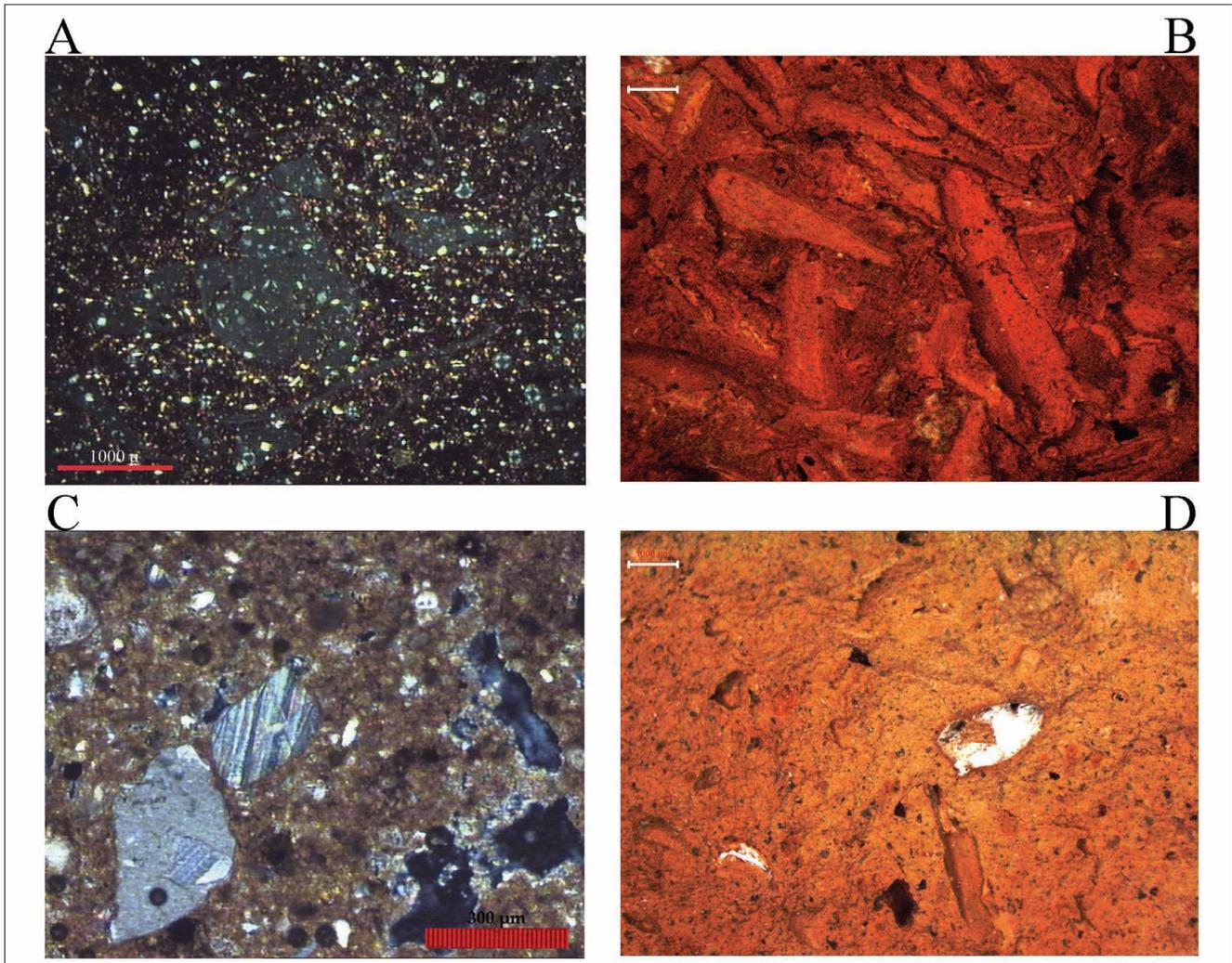


Fig. 1. a) Microfotografía de una lámina delgada del barro de cubierta (CLG-96-mc-6, nicols cruzados). b) Microfotografía del fragmento de barro anterior con improntas de materia vegetal (escala 1 mm). c) Microfotografía de una lámina delgada del adobe TSB-4/66 mostrando cristales de dolomita (nicols cruzados). d) Microfotografía del fragmento de adobe TSB-4/66 con abundantes limos y arenas (escala 1 mm).

partículas minerales, la textura o la plasticidad. La posibilidad de distinguir distintos depósitos, puede limitar o expandir el uso de determinadas materias primas, además de favorecer implicaciones simbólicas para las sociedades que los utilizan (Rice 1984; Arnold 2000; Stark *et al.* 2000). El estudio de los artefactos seleccionados ha tratado de incidir sobre este tipo de variables a partir de la caracterización de la composición y el examen visual de las muestras. Se ha examinado la textura con microscopio estereoscópico y se ha realizado la clasificación cromática de las piezas mediante *Munsell Soil Color Charts*. Este primer examen se realiza con la finalidad de aproximarnos a la coloración y el aspecto general de las piezas.

La composición mineralógica de las muestras se ha analizado mediante Difracción de Rayos X (DRX), empleando diagrama de muestra total. También se ha realizado el estudio petrográfico de algunas muestras con la finalidad de completar los datos mineralógicos. Para el análisis por DRX las muestras se pulverizaron hasta una fracción inferior a 2 μm . Se ha utilizado un difractómetro *Siemens P5000* (radius = 240mm) usando la radiación K_{α} del Cu ($\lambda = 1.5405\text{\AA}$) como eje incidente y un monocromador de gonio en el eje difractado. La potencia de trabajo ha sido de 45 kV y 40 mA. Las mediciones $\theta / 2\theta$ se realizaron entre 3 i 70° 2 θ con un tiempo de 3s para cada paso. Las evaluaciones de las fases cristalinas se efectuaron con los pro-

Muestra	Material	Illita	Moscovita	Filosilicatos	Calcita	Feldespatos K	Cuarzo	Plagioclasas	Aragonito	Dolomita	Munsell	Color
SM-99-1144	Cubierta	10.4	3	13.4	81.1	0.8	4.3	0.3	-	-	7.5YR-7/3	Rosado
SM-98-1151	Cubierta	13.1	3.1	16.2	75.4	1.7	5.4	1.2	-	-	7.5YR-7/4	Rosado
SM-98-594	Cubierta	11.6	5.5	17.1	75.5	2.1	4.6	0.6	-	-	10YR-8/4	Marrón muy claro
SM-98-595	Cubierta	10.2	3.7	13.9	79.9	2.3	3	1	-	-	10YR-8/4	Marrón muy claro
TSB-1	Cubierta	4.4	1.6	6	86	1.6	0.5	0.7	5.2	-	10YR-8/4	Marrón muy claro
CLG-98-mc-1	Cubierta	43.3	24.7	68	1	3.8	26.3	0.8	-	-	10R-5/6	Rojo
CLG-97-mc-2	Cubierta	41.9	25.7	67.6	1.9	3.7	25.5	1.2	-	-	5YR-6.4	Marrón claro
CLG-97-mc-3	Cubierta	45	17.2	62.2	5.2	3.9	27.4	1.3	-	-	2.5YR-6.6	Rojo
CLG-96-mc-4	Cubierta	43.5	25.5	69	1.9	3.6	25	0.8	-	-	2.5YR-5.6	Rojo
CLG-96-mc-5	Cubierta	42.9	21.8	64.7	2	5.6	26.1	1.7	-	-	10R-5.6	Rojo
CLG-96-mc-6	Cubierta	43.1	25	68.1	1.9	3.6	24.8	1.6	-	-	2.5YR-5.6	Rojo
SM-08-157	Adobe	14.3	7.7	22	70.3	0.7	6.7	0.3	-	-	7.5YR-7.4	Rosado
SM-08-160	Adobe	19.9	7.7	27.6	59.5	2.3	9	1.5	-	-	7.5YR-7.4	Rosado
SM-08-163	Adobe	8.4	3.8	12.2	82.5	1.6	3.1	0.7	-	-	7.5YR-7.2	Rosa-gris
SM-08-198	Adobe	4.7	1.7	6.4	91.8	0.9	0.5	0.4	-	-	7.5YR-7.1	Gris claro
SM-08-199	Adobe	22.3	12.7	35	51	1.9	11.4	0.7	-	-	7.5YR-8.4	Rosado
SM-08-207	Adobe	11.9	3.6	15.5	77.3	1.5	5.4	0.3	-	-	7.5YR-8.4	Rosado
TSB-4/66	Adobe	13.9	8.1	22	68.2	0.6	7	0.9	-	1.3	7.5YR-6.3	Marrón claro
TSB-4/43	Pesa	27.5	16.2	43.7	36.4	2.8	13	1.2	-	2.8	7.5YR-7.4	Rosado
TSB-8/33	Pesa	29.8	17.6	47.4	34.2	3	14	1.3	-	-	7.5YR-6.3	Marrón claro

Tabla 1. Composición mineralógica de los artefactos analizados por DRX (muestra total) semi-cuantificados mediante método RIR normalizado.

gramas *Eva* y *Xp powder*, utilizando las tablas de espaciados e intensidades del banco de datos del *Joint Committee of Powder Diffraction Standards*. Para la estimación semi-cuantitativa se ha utilizado el método RIR (*Reference Intensity Ratios*) Normalizado (Martín 2004).

La realización de análisis químicos mediante Fluorescencia de Rayos X nos ha permitido obtener información referida a elementos mayoritarios, minoritarios y diversos elementos traza. La rutina analítica ha consistido en la preparación de la muestra en polvo y su posterior secado en una estufa a 80° durante 4 horas. Se ha procedido a utilizar 1.5 g de polvo de cada muestra para realizar las pastillas prensadas. La cuantificación se ha realizado con un espectrómetro secuencial de Rayos X *Philips Magix Pro* (PW2400) con un canal de medida gobernado por un goniómetro que cubre la totalidad del rango de medida del instrumento. Está equipado con tubo de rodio y ventana de berilio con una potencia de 4 Kw, dos colimadores

primarios (150 y 300 micrómetros de espaciado) y cinco cristales analíticos (LiF200, PE002, PX1, LiF220 y Ge111). El espectrómetro se controla por un ordenador externo en el que se ejecuta el software analítico *SuperQ* obteniendo un análisis cualitativo de la muestra. La medida de la muestra en polvo se realiza en atmósfera de helio y soportada en un film de poliéster (Mylar®). La semi-cuantificación de la muestra se realiza posteriormente con el programa informático IQ+ y ha sido normalizada al 100%.

IV. RESULTADOS

Impermeabilización de cubiertas

Se trata de fragmentos de barro, con improntas de troncos y fibras vegetales de gran tamaño, que se relacionan con el material utilizado para impermeabilizar las cubiertas de materia vegetal que techaban las edificaciones estudiadas. Se

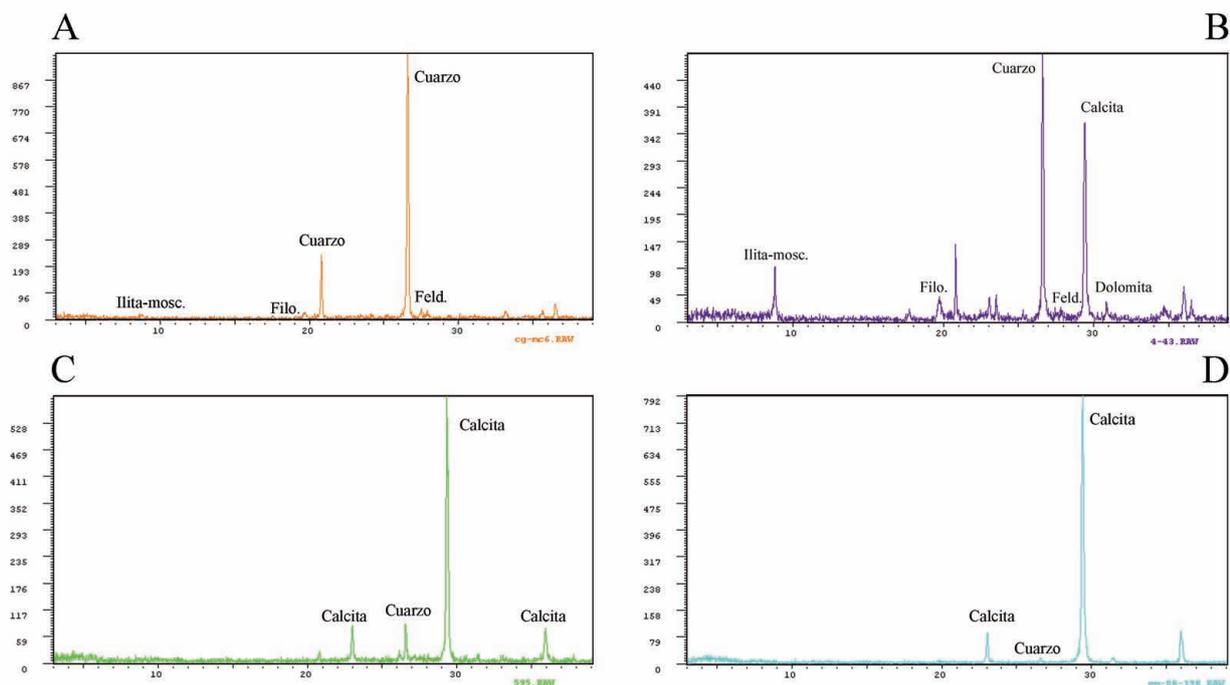


Fig. 2. Diagramas de DRX (muestra total) de los artefactos analizados. a) barro de cubierta (CLG-96-mc-6), b) pesa de telar (TSB-4/43), c) material de cubierta (SM-98-595) y d) adobe (SM-08-198).

ha dispuesto de seis muestras del Naviforme I de la Edad del Bronce de *Closos de Can Gaià* (Felanitx), cuatro de la Torre I del Postalayótico I del *Puig de Sa Morisca* y una del Postalayótico Final del *Turó de les Abelles* (Santa Ponça). Dentro de los materiales utilizados en los diferentes yacimientos se ha constatado una clara división dependiendo de sus atributos mineralógicos y la gama cromática que presentan. En función de estos atributos podemos distinguir dos grupos que se relacionan con materias primas diferentes con características muy distintas.

Materiales del Bronce Final de Closos de Can Gaià

Los materiales de la cubierta del naviforme se han mostrado muy parecidos en su composición mineralógica y se caracterizan por una alta cantidad de filosilicatos (60-70%) en su composición, esencialmente illita y moscovita. Dentro del material de relleno hay que destacar una alta cantidad de cuarzo (24-28%) y en menor cantidad feldespato potásico (3.6-5.6%) y plagioclasas (<2%). Los diagramas de Rayos X se caracterizan por la práctica ausencia de picos de calcita, si éstos se detec-

tan es en una cantidad inferior al 5%, indicando la utilización de depósitos poco calcáreos (Figura 1a y Tabla 1). La textura de las muestras, examinada mediante binocular, nos indica un sedimento muy fino sin gravas y con un 30% de limos y un 10% de arenas (ITGE 1991: 18). El análisis petrográfico (Figura 2a) muestra una matriz muy porosa de color marrón-rojizo (PPL-XPL) con abundante presencia de materia orgánica claramente visible mediante binocular y que presenta un tamaño y morfología variada. La matriz es muy rica en inclusiones minerales de tamaño fino muy bien ordenadas que se componen básicamente de cuarzo mono-cristalino sub-redondeado o redondeado (25%) de un tamaño inferior a 100 μm , siendo la fracción predominante la de 50 μm . La escasa calcita que se documenta (<3%) es micro-espática y se concentra en algunos poros. Finalmente, hay que resaltar la presencia minoritaria (2%) de laminillas de moscovita (<70 μm) e inclusiones opacas de hasta 300 μm . Las muestras han mostrado una coloración roja muy intensa en las tablas *Munsell* (2.5YR5/6 y 10R5/6). Todos los datos indican que en este caso no se utilizó una marga, sino que dentro de la geología local esta composición parece más relacionada con la utilización de suelos

de terra rossa. En lámina delgada, estos suelos presentan un color rojo oscuro con una matriz arcillosa muy rojiza rica en hierro y carente de inclusiones con excepción de granos de cuarzo y nódulos calcáreos (Tucker 1991: 103).

Éste es el tipo de arcilla más abundante y cercana (<100 m) al poblado. Este tipo de suelos rojizos son considerados en Mallorca como los de mayor calidad para cultivar. Diversos estudios etnográficos han documentado que a menudo se evita la explotación de las mejores tierras de cultivo para la fabricación de artefactos arcillosos. La extracción de arcilla implica la denudación de los suelos, la eliminación de nutrientes, y el aumento de los procesos erosivos, en definitiva una pérdida de las capacidades productivas potenciales de los grupos humanos (Arnold 2000). Sin embargo, como observamos en este caso, este tipo de sedimentos se han utilizado como materia prima desde el Neolítico hasta la actualidad (Hein *et al.* 2004).

Materiales Postalayóticos del área de Santa Ponça

Este grupo de piezas presenta características mineralógicas y cromáticas muy parecidas entre sí y son completamente distintas a las observadas en el grupo anterior. Las muestras de este grupo son de color rosado o marrón claro (7.5YR 7/3 y 10YR 8/4) presentan cantidades sensiblemente más bajas de cuarzo, feldespatos y minerales de la arcilla. Estos materiales se caracterizan por una cantidad muy baja de filosilicatos (<17%) en su composición tratándose esencialmente illita y moscovita. Esta baja cantidad de filosilicatos evidencia la escasa plasticidad que presenta el producto siendo no apto para la producción de cerámica, donde es necesario al menos un 35% de minerales de la arcilla. Dentro del material de relleno hay que destacar una baja cantidad de cuarzo (<5.5%) y la presencia accesorio de feldespato potásico (<3%). Los diagramas de rayos X se caracterizan por la presencia de picos muy intensos de calcita (75-85%) que, dado que no se ha constatado desgrasante en la pasta, deben asociarse a una alta cantidad de carbonatos presentes de forma natural en los depósitos (Figura 1c y Tabla 1). Finalmente, debemos añadir a esta composición básica

la presencia de aragonito (3.40 Å) en el difractograma de la muestra de cubierta (TSB-1). Este mineral podría indicarnos la utilización de un material asociado a sedimentos marinos de poca profundidad de edad reciente, normalmente adscritos al Holoceno (Mackenzie y Adams 1994: 110).

Esta muestra se mostró (Tabla 2) claramente diferenciada de las cerámicas del mismo yacimiento en los análisis químicos de FRX, presenta cantidades notablemente inferiores de Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , Cl y Zr. Por el contrario, presenta concentraciones mucho más altas de MgO, CaO y Sr. La cantidad de Sr más alta puede relacionarse con la presencia de aragonito, pues en este mineral el calcio puede reemplazarse por estroncio (Nesse 1991: 148). Podemos asegurar que para realizar las cubiertas se utilizaron depósitos muy calcáreos, concretamente calizas margosas. Este tipo de sedimentos son muy abundantes en el entorno y a ellos nos remiten los análisis realizados sobre arcillas de la zona. Probablemente se utilizaron depósitos adscritos al Holoceno más que otros del Cretácico, Paleógeno y Pleistoceno (Albero y García Rosselló 2008).

Adobes

Las adobes analizados son todos de color rosa pálido (7.5YR 7/1 a 7/4) proceden, seis de ellos, de niveles postalayóticos del poblado del *Puig de Sa Morisca* y uno del sector 4 del *Turó de ses Abeilles*. El análisis de DRX (Figura 1d y Tabla 1) muestra la utilización de una materia prima muy semejante a la anterior, donde se detectan una baja cantidad de filosilicatos, illita-moscovita (<35%), y una alta cantidad de carbonatos (50-90%), la cantidad de cuarzo es muy baja (<11%) y se detecta la presencia accesorio de feldespato potásico y plagioclasas (<3%). En la muestra TSB-4/66 se han detectado picos muy poco intensos (<2%) de dolomita (2.88 Å). El análisis petrográfico de este adobe muestra una matriz óptimamente activa de color marrón (PPL-XPL) con abundantes inclusiones y porosidad baja, en el perímetro de los poros de la matriz se detecta calcita micrita. Se observan inclusiones de roca caliza (15%) mal ordenadas muy redondeadas formadas por calcita micrita o micro-

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Sr	Zr	Cl
Arcilla Paleógeno	1.38	15.90	42.26	0.35	2.65	29.98	0.72	5.49	573	177	869
TSB-1	2.76	5.39	20.41	0.38	0.59	66.54	0.36	2.68	846	144	2700
TSB-4/66	1.61	9.61	33.19	0.36	1.69	48.08	0.58	3.19	437	180	890
TSB-4/43 y TSB-8/33	1.37	17.24	48.95	0.45	3.45	19.45	0.77	5.20	401	185	3625
Cerámicas (n = 11)	0.97	19.03	45.01	0.59	1.66	14.83	3.41	12.21	297	335	11360

Tabla 2. Elementos mayoritarios y minoritarios (wt%) y elementos traza Sr, Zr, Cl (ppm) semi-cuantificados mediante FRX de los materiales arcillosos no cerámicos del *Turó de les Abelles*.

espática. Lo normal son las inclusiones por debajo de las 500 μm de longitud aunque se documentan de hasta 1400 μm . También se observan algunos pocos cristales de dolomita (3%), tanto aislados en la matriz como reemplazando algunos de los granos de caliza, de morfología romboidal de hasta 260 μm (Figura 2c). Se trata de una materia prima con un 10% de cuarzo mono-cristalino y poli-cristalino sub-angulares y sub-redondeados. Finalmente, se detectan algunos granos de plagioclasas inferiores a 100 μm . El examen de las muestras con binocular muestra abundante presencia de limos y arenas (Figura 2d). Químicamente el adobe del *Turó de les Abelles* ha mostrado una composición asociada al uso de margas calcáreas con un 45 % de CaO. El resto de elementos muestran valores que nos indican que, probablemente, se utilizó una materia prima distinta a la del resto de artefactos analizados del yacimiento. La baja cantidad de minerales de la arcilla y la alta cantidad de limos y arenas habría hecho muy dificultosa su utilización, al tener baja plasticidad, para la producción de cerámica. Al contrario, la composición constatada hace que este tipo de materia prima sea ideal para la construcción con adobes (Morales *et al.* 1985).

Pesas de telar

La composición mineralógica de las pesas de telar (TSB-4/43 y TSB-8/33) se ha revelado extremadamente similar (Tabla 1). Ambas piezas han

mostrado una pasta muy fina, sin desgrasantes añadidos y con tonos rosados mezclados con otros rojizos (7.5YR 7/4 o 6/3), que ha sido notablemente distinta del resto de artefactos arcillosos no cerámicos analizados. Podemos señalar una cantidad (44-47%) moderada de filosilicatos (illita y moscovita). Esta pasta podría haber sido, por su plasticidad, utilizada para la fabricación de cerámica. Los picos de calcita son menos intensos y la cantidad de este mineral (35%) es sensiblemente inferior a la observada en los adobes y en el barro de cubierta. Nos indica que en este caso las piezas no se fabricaron con calizas margosas sino con arcillas margosas. La cantidad de cuarzo es muy homogénea (12-13%) y se documenta la presencia accesorio (<3%) de feldespatos, y en la pesa TSB-4/43 de dolomita (Figura 1b). El incremento en la cantidad de filosilicatos de las pesas se plasma químicamente (Tabla 2 y 3), las cantidades de Al₂O₃ y SiO₂ son muy parecidas a las de las cerámicas. Las diferencias en este sentido con el adobe y el barro de cubierta son significativas. Las pesas de telar se caracterizan respecto al grupo principal de piezas cerámicas del *Turó de les Abelles* por presentar niveles más bajos de Fe₂O₃, TiO₂, Zr y Cl, en cambio, han mostrado mayor cantidad de K₂O. Por otro lado, estas pesas de arcilla han mostrado una composición química muy parecida a la de la arcilla del Paleógeno recogida en el *Turó de les Abelles*, especialmente son parecidos los porcentajes de MgO, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃ y Zr.

Muestra	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Sr	Rb	Zr	Ba	Y	Cl
TSB-4/43	1,29	17,88	48,45	0,45	3,28	21,44	0,78	4,95	438	168	206	754	28	4320
TSB-8/33	1,44	16,61	49,44	0,45	3,63	17,46	0,76	5,44	364	192	164	712	23	2930

Tabla 3. Elementos mayoritarios y minoritarios (wt%) y elementos traza Sr, Rb, Zr, Ba, Y, Cl (ppm) semi-cuantificados mediante FRX de las pesas de telar del *Turó de les Abelles*.

V. CONCLUSIONES

Las comunidades estudiadas realizaron una gestión especializada y racionalizada de los distintos tipos de recursos minerales disponibles en su territorio en función de las distintas necesidades. Las diferencias en la composición de las materias primas utilizadas determinan variaciones en sus cualidades, indicándonos que la selección del material se relaciona estrechamente con el tipo de artefacto, sus necesidades de fabricación y su función. Los datos obtenidos apuntan hacia una división de los recursos empleados. Mientras las arcillas muy plásticas se utilizan en la producción de cerámica y pesas de telar, se utilizan calizas margosas no aptas en cerámica para la producción de material de construcción.

Dentro de esta tendencia podemos exceptuar el comportamiento observado en *Closos de Can Gaià*, donde prevalece la cercanía de la materia prima sobre el uso de arcillas menos plásticas y muy calcáreas. Dada la alta cantidad de materia prima que se requiere para cubrir la totalidad de la estructura, la cercanía a la fuente de aprovisionamiento constituye una de las prioridades, incluso, como se ha observado en este yacimiento, si ello supone la explotación de terrenos fértiles y una reducción de las capacidades potenciales del grupo. Seleccionar este tipo de recursos, poco adecuados para construcción, exige que las materias utilizadas requieran de desgrasante orgánico con tal de reducir la plasticidad de la arcilla y adecuarla a su función como material de cubierta impermeabilizante (Figura 2b). Este es, por tanto, un primer antecedente de una solución tecnológica, la adición de vegetal, que se generalizará en Mallorca a par-

tir del siglo V a. C. en la preparación de pastas cerámicas (Albero 2007). Observamos entonces que existe una clara racionalización del esfuerzo que debe invertirse en la consecución de los artefactos.

En contraposición a este tipo de productos, las pesas de telar poseen una forma lenticular bien definida, este puede ser el motivo por el que se realizan con materias muy plásticas y ricas en minerales de la arcilla, similares en sus cualidades a las utilizadas en la producción cerámica. Esta conexión en el tipo de materiales podría indicar la existencia de cierta interrelación y transmisión de conocimientos entre los artesanos que realizaban las pesas de telar y las cerámicas en cuanto a la localización y explotación de materias primas. La experiencia y el conocimiento de los distintos depósitos por parte de diferentes artesanos podría compartirse con otras personas con la finalidad de optimizar la totalidad de los recursos. Esta conexión podría extenderse también a los fabricantes de material de construcción. Tal vez puede existir una alta correspondencia espacial entre las zonas en las que se produce cerámica y material de construcción, ya que ambas se suelen situar en el radio inmediato de los núcleos de población.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo desarrollado bajo los objetivos científicos y la financiación del proyecto *Producir, consumir, intercambiar. Explotación de recursos y relaciones externas de las comunidades insulares baleáricas durante la prehistoria reciente* (HAR2008-00708) financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERO SANTACREU, D. 2007: "Primeras aproximaciones a la tecnología cerámica prehistórica en la península de Calviá (Mallorca)". *Arqueología y Territorio* nº 4. Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada: 70-86.
- ALBERO, D. y GARCÍA ROSSELLÓ, J. 2008: "Áreas fuente de arcilla: Una propuesta para su estudio analítico". *II Congreso Internacional de Arqueología Experimental*. Ronda, España.
- ARNOLD, D. E. 2000: "Does the standardization of ceramic pastes really mean standardization?". *Journal of archaeological method and theory* 7: 333-375.
- BONZON, J. 2003: "Petrographical and Mineralogical Study of Neolithic Ceramic from Arbon-Bleiche 3 (Canton of Thurgau, Switzerland)". *Proceedings of the 6 Th European Meeting of Ancient Ceramics*: 25-50.
- CAMPS, J. y VALLESPÍR, A. 1998: *Excavacions a Santa Ponça. Mallorca: El Turó de les Abelles*. Col·lecció La Deixa, 1, Monografies de Patrimoni Històric, Consell de Mallorca.
- DI PIERRO, S. 2003: "Matrix-temper separation of Neolithic ceramics: an experimental approach to characterize the original raw materials and determine their provenance". *Proceedings of the 6 Th European Meeting of Ancient Ceramics*: 109-131.
- GUERRERO, V.M.; CALVO, M.; GARCÍA ROSSELLÓ, J. y GORNÉS, S. 2007: *Prehistory of the Balearic Islands. Archaeological Record and Social Evolution Before the Iron Age*. British Archaeological Reports, Internacional Series 1690, Oxford.
- HEIN, A.; DAY, P. M.; CAU, M. A. y KILIKOGLU, V., 2004: "Red clays from Central and Eastern Crete: geochemical and mineralogical properties in view of provenance studies on ancient ceramics". *Applied Clay Science* 24: 245-255.
- ITGE 1991: *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000*, hoja 698/723(IV), 38-27/38-28 Palma I. del Toro y Cap de Cala Figuera. Instituto GeoMinero de España, Madrid.
- LIVINGSTONE, A. 2007: *Chaîne Opératoire de la Poterie*. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren.
- MACKENZIE, W. y ADAMS, A. 1994: *Rocks and minerals in thin section*. Manson Publishing, London.
- MARTÍN, J.D. 2004: "Using X-Powder: A software package for Powder X-Ray diffraction analysis". www.xpowder.com D.L. GR 1001/04. ISBN 84-609-1497-6. Spain.
- MARTINEAUS, R.; WALTER-SIMMONET, GROBÉTI, B. y BUATIER, M. 2007: "Clay Resources and Technical Choices for Neolithic Pottery (Chalain, Jura, France): Chemical, Mineralogical and Grain-size Analyses". *Archaeometry* 49 (1): 23-52.
- MORALES, R.; TORRES, F.; RENGIFO, L. y IRALA, C. 1985: *Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe*. Universidad Nacional de Ingeniería FIC. Lima.
- NESSE, W. 1991: *Introduction to optical mineralogy*. Oxford University Press, New York.
- RICE, P. M. 1984: "The archaeological study of specialized pottery production: Some aspects of method and theory". *Pots and Potters: Current Approaches in Ceramic Archaeology*, Monograph XXIV: 45-54.
- STARK, M.; BISHOP, R. y MIKSA, E. 2000: "Ceramic Technology and Social Boundaries: Cultural Practices in Kalinga Clay Selection and Use". *Journal of Archaeological Method and Theory*, Vol. 7, No. 4:295-331.
- TITE, M.S. 1999: "Pottery production, distribution, and consumption: The contribution of the Physical Sciences", *Journal of Archaeological Method and Theory*, 6 (3): 181-233.
- TUCKER, M. 1991: *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell Scientific Publications, Texas.

PÓSTERS ANÁLISIS DE MATERIALES

PIGMENTOS Y TÉCNICAS PICTÓRICAS

CARACTERIZACIÓN DE ESTUCOS Y PIGMENTOS DEL ESTABLECIMIENTO ROMANO REPUBLICANO DE CAN TACÓ-TURÓ D'EN ROÏNA (MONTMELÓ-MONTORNÈS DEL VALLÈS, BARCELONA)

CHARACTERIZATION OF STUCCOES AND PIGMENTS FROM THE ROMAN SETTLEMENT OF CAN TACÓ-TURÓ D'EN ROÏNA (MONTMELÓ-MONTORNÈS DEL VALLÈS, BARCELONA)

Africa Pitarch Martí (1) / Ignasi Queralt Mitjans (1) / Aureli Álvarez Pérez (2) / Josep Guitart Durán (3)

(1) *Laboratorio de Aplicaciones Analíticas de Rayos-X, Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC*

(2) *Dpto. Geología, Universidad Autónoma de Barcelona*

(3) *Dpto. Historia, Universidad Autónoma de Barcelona*

RESUMEN: *El yacimiento de Can Tacó-Turó d'en Roïna es un enclave romano de carácter político-militar situado estratégicamente en una pequeña colina desde la cual se controlaba la Vía Hercúlea (después denominada Vía Augusta). El castellum fue construido a principios del siglo II a. C. y fue demolido un siglo más tarde. Un aspecto destacable de éste yacimiento ha sido el hallazgo de los restos de una decoración parietal de Primer Estilo Pompeyano considerada como uno de los ejemplares más antiguos localizados en Cataluña y en la península Ibérica. Esta decoración imita la apariencia de un conjunto de sillares revestidos con placas de mármol y perfilados con líneas rojas que parecen ser las juntas. El estudio de los estucos y pigmentos relacionados con esta decoración, nos permitirá interpretar la tecnología empleada durante esta primera fase de romanización. El análisis de las superficies pictóricas se ha llevado a cabo mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF), difracción de rayos X (XRD) y microscopio electrónico de barrido (SEM-EDX). De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha detectado principalmente la presencia de pigmentos tan preciados como el cinabrio (HgS), que en algunos casos se encuentra mezclado con una pequeña cantidad de hematites (Fe₂O₃). El estudio de los morteros utilizados en el estucado de las paredes se ha realizado fundamentalmente por medio de microscopio óptico de polarización (POM) y SEM-EDX. Según los resultados obtenidos podemos afirmar que son unos estucos con una carga de granulometría muy fina, componentes bien seleccionados (en su mayoría son fragmentos de calcita (CaCO₃) que fueron añadidos intencionadamente) y una dosificación del orden de 1:3 (una parte de aglomerante y tres partes de arena). Asimismo, se ha puesto de manifiesto la superposición de morteros de diferente granulometría (argamasa y capas de preparación).*

SUMMARY: *The archaeological site of Can Tacó (Barcelona, Spain) is a military settlement which was strategically built on a small hill next to the old Via Augusta Roman road. The castellum was erected sometime in early Roman times (second century B.C) and was demolished a century later. Among the numerous finds, the well preserved remains of a first Pompeian style painting stand out. This decoration, that imitates a free-stone wall with marble plates outlined by thin red lines, is considered of being one of the earliest Roman paintings recorded in the northeast of the Iberian Peninsula (modern Catalonia). The study of the mortars and stucco related to this parietal decoration will enable us to understand the technology used by Romans to build this sort of elements in such an early date. The methods selected for the characterization of the painted layers were Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry (EDXRF), X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy equipped with Energy Dispersive X-ray analysis system (SEM-EDS). According to the obtained results, the presence of the highly prized cinnabar red pigment (HgS) has been detected, which sometimes appear mixed with a low amount of haematites (Fe₂O₃). Polarized Optical Microscopy (POM) and SEM-EDS were used to study the supporting materials. The results showed an extremely high quality lime mortar, with small grain size, well selected components (composed by crushed grains of calcite (CaCO₃) which were intentionally added) and a component ratio of about 1:3 (one part of chalk and tree parts of sand). It has also been recorded the presence of superimposed layers (mortar and preparation layers) of different grain size.*

PALABRAS CLAVE: *Pigmentos y morteros romanos, análisis no destructivos/ micro destructivos.*

KEY WORDS: *Roman stuccoes and pigments, non-destructive/ micro-destructive analysis.*

I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Can Tacó-Turó d'en Roïna es un enclave romano de carácter político-militar datado del siglo II a. C. Éste yacimiento es de gran interés tanto por su cronología como por su tipología y contexto territorial, un castellum de los primeros momentos de la romanización, construido estratégicamente en una pequeña colina cerca del *terminus Augustalis* de Montornès del Vallès desde la cual se controlaba la *Vía Hercúlea* (después denominada *Vía Augusta*) (Figura 1).

Un aspecto destacable de éste yacimiento ha sido el hallazgo en una de las habitaciones del castellum de los restos de una decoración parietal considerada como uno de los ejemplares más antiguos localizados en Cataluña y en la península Ibérica (Figuras 2 y 3).

Se trata de un de *Primer Estilo Pompeyano*, el primer estilo pictórico romano desarrollado en Pompeya entre mediados del siglo II a. C. y princi-

pios del I a. C., la misma época en que se enmarca el yacimiento de Can Tacó-Turó d'en Roïna. El mural, hecho de estuco blanco, reproduce una pared de sillares con revestimiento de placas de mármol perfilados con líneas rojas que aparentan ser las juntas entre las placas.

El estudio de los estucos y pigmentos relacionados con esta decoración mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF), difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) y microscopía óptica de polarización (POM) nos permitirá interpretar la tecnología de construcción empleada durante esta primera fase de romanización.

II. METODOLOGÍA

Materiales

La selección de las muestras se realizó con la colaboración del departamento técnico de res-



Fig.1. Vista aérea del yacimiento.



Fig. 2. Vista aérea de la habitación donde se hallaba la decoración.

tauración del asentamiento, teniendo en cuenta su aspecto macroscópico. Dada la singularidad de la decoración y la escasez de material, únicamente se ha podido disponer para llevar a cabo el estudio analítico de dos pequeños fragmentos (uno perteneciente al zócalo y el otro a la línea roja que aparenta ser la junta entre los sillares - Tabla 1).

Código muestra	Tipo de material	Observaciones
CT-Zócalo	Estuco	Fragmento de decoración parietal-zona del zócalo
CT-U.E. 129	Estuco	Fragmento de decoración parietal-zona de los sillares

Tabla 1. Relación de muestras analizadas.

Instrumentación

Dado que no existe una técnica que por sí sola pueda caracterizar unas muestras tan complejas como las que se estudian en este trabajo, se ha optado por utilizar diversas técnicas de análisis:

-Microscopía óptica de polarización (POM): permite realizar la descripción textural y la caracterización mineralógica de los morteros. Se ha llevado a cabo en las instalaciones de la Unidad de Estudios Arqueométricos del Instituto Catalán de Arqueología Clásica (Ud'EA-ICAC, Tarragona) mediante la utilización de un microscopio óptico



Fig. 3. Detalle de la decoración parietal restaurada.

de polarización NIKON Eclipse 50iPOL equipado con cinco objetivos (2x, 4x, 10x, 20x y 40x). Las microfotografías se han realizado con una cámara NIKON COOLPIX5400 y un adaptador NIKON COOLPIX MDC Lens.

-Fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF): permite el análisis de la composición elemental (elementos químicos presentes) de las superficies pictóricas. Se ha hecho mediante un espectrómetro de fluorescencia Fischerscope® X-Ray XAN® equipado con un tubo de W con ventana de Be, tres filtros de haz primario y 4 colimadores. Las condiciones de trabajo fueron las que siguen: 10-50 kV de tensión, hasta 1 mA de intensidad, una potencia máxima de 50 Watts, colimador de 0.6 mm de diámetro y un tiempo de medida de 300 s.

-Difracción de rayos X (XRD): permite la identificación de las sustancias presentes en las capas pictóricas y en los materiales de soporte. Se ha realizado mediante un difractor Bruker D8 Advance con cristal Göbbel primario, detector SOL-X y tubo de Cu. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes: 40 kV y 40 mA, rango de escaneo en 2θ de 4° a 55° , con un *stepscan* de 0.05 grados y 6 segundos como tiempo de adquisición por paso.

-Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX): permite la observación de la estratigrafía de las secciones y el análisis químico elemental de las áreas seleccionadas. Se ha utilizado

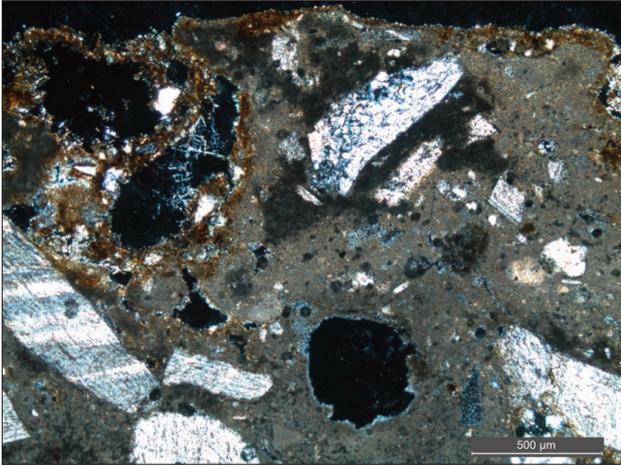


Fig. 4. Microfotografía de la muestra CT-Zócalo a 75x y NC (polarizadores cruzados).

un microscopio electrónico de barrido con sistema de análisis de dispersión de energías. Éste se ha llevado a cabo en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Autónoma de Barcelona mediante un equipo JEOL JSM-6300 con un sistema de detección EDX Link Isis-200 y una resolución de 138 eV (boro-uranio).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopía óptica de polarización (POM)

Descripción textural y caracterización mineralógica de la muestra CT-Zócalo:

-Carga de granulometría variable (de 0.5 a 1.5 mm) constituida por abundantes fragmentos de calcita (CaCO_3) con maclas polisintéticas y de formas rectangulares. Presencia de algún cristal de cuarzo (SiO_2) muy fracturado.

-La preparación del mortero ha sido muy cuidadosa ya que los granos de la carga (arena) se encuentran separados entre sí y regularmente distribuidos por la matriz.

-La dosificación es 1:3 (una parte de aglomerante y tres partes de arena)

-La porosidad es baja y está formada por pe-

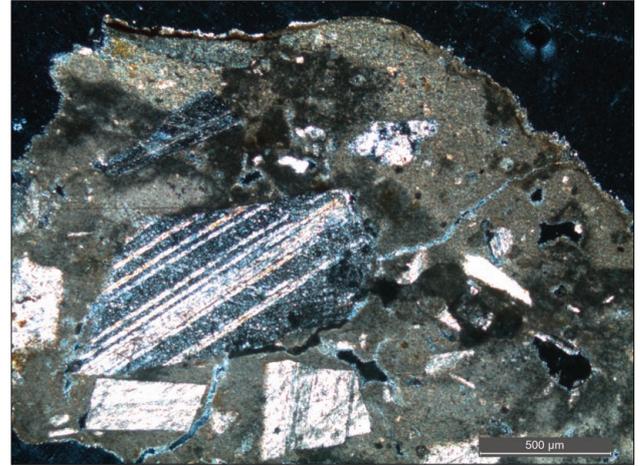


Fig. 5. Microfotografía de la muestra CT-U.E. 129 a 75x NC.

queños poros de forma esférica de 0.1 mm de diámetro medio.

Descripción textural y caracterización mineralógica de la muestra CT-U.E.129:

-Carga de granulometría variable que va desde granos de 1.5 mm de diámetro a granos de 0.5 mm, constituida por fragmentos de calcita (CaCO_3) de formas angulosas y con maclas polisintéticas y algunos pequeños cristales de cuarzo.

-La dosificación es de 1:3.

-Porosidad baja con poros de forma irregular, algunos son alargados (0.5 mm la dimensión mayor) y otros son más pequeños y esféricos con un diámetro de 0.1 mm.

La observación mediante POM nos permite comprobar que se trata de estucos bien preparados (con una dosificación de carga y de agua acorde con los cánones clásicos definidos por Vitrubio (Vitrubio, Ed. 1980)). En ambos casos la carga es muy homogénea y está constituida casi exclusivamente por calcita. La muestra CT-U.E. 129 presenta una blancura y una finura excepcionales. Los cristales de calcita (CaCO_3) tienen formas poligonales debidas a la exfoliación típica de la misma y ello sugiere que ésta ha sido previamente triturada.

Fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF)

Esta técnica permite determinar los distintos elementos químicos que forman los compuestos (minerales) presentes en la muestra.

En las muestras analizadas, los espectros EDXRF obtenidos (Figura 6) indican, mediante los picos característicos de cada elemento, la presencia de Fe, Hg y Ca. La intensidad de los picos es proporcional a la concentración de cada uno de los distintos elementos

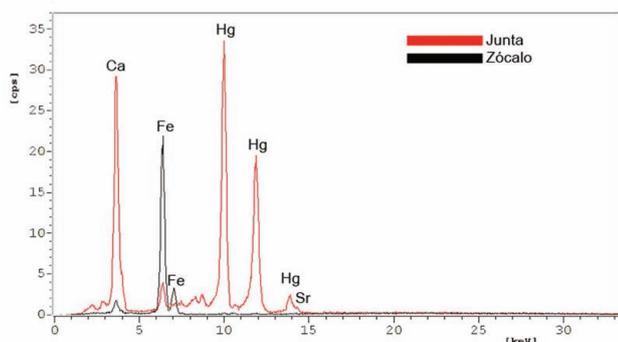


Fig. 6. Espectros EDXRF de las muestras CT-Zócalo (en negro) y CT-U.E. 129 (en rojo).

En la tabla 2 se muestran las intensidades de las líneas espectrales específicas del Ca, del Fe y del Hg.

En la muestra CT-U.E. 129 la presencia de Hg es muy acentuada, apareciendo el Fe como elemento traza. En la muestra CT-Zócalo se observa, por el contrario, una acusada presencia de Fe y ligeras trazas de Hg.

En la muestra CT-UE 129, además del análisis elemental de las superficies pictóricas, se ha lle-

Ref.	KαCa	KαFe	KβFe	Lα Hg	LβHg
CT-Zócalo	1,49	16,72	3,20	0,20	0,14
CT-UE.129	27,9	3,76	1,19	30,38	16,5

Tabla 2. Intensidad total de varias líneas espectrales específicas (cps).



Fig. 7. Imagen de la zona donde se hizo el estudio de distribución del Ca y el Hg en superficie.

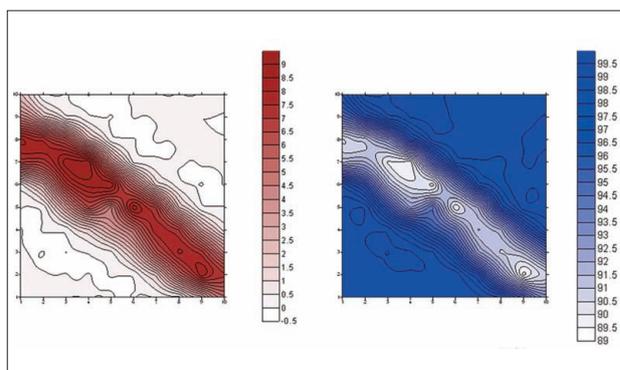


Fig. 8. Mapas de distribución de los elementos Hg (en rojo) y Ca (en azul) a lo largo de la muestra CT-U.E. 129.

vado a cabo un estudio de la distribución en superficie (pintada y sin pintar) de los elementos Hg y Ca. Para ello se definió una red de 100 puntos (Figura 7) siendo las condiciones de medida y captación de los datos del mapping: 50kV, colimador de 0.6 mm., filtro de Al, 100 s/punto.

Los mapas de distribución (Figura 8) evidencian que el Hg se concentra a lo largo de toda la línea roja y que el Ca aparece en la zona no pintada, correspondiente a la superficie de estuco, formada únicamente por el mortero de cal (CaCO_3).

El análisis por EDXRF permite observar la presencia de Fe, Hg y Ca en ambas muestras.

El Fe podría indicar la presencia de hematites (Fe_2O_3), que era el pigmento más utilizado en el mundo romano (Delamare 1984) para preparar el bermellón. Este pigmento podía llegar a contener un 30% de hematites. El Hg, por su parte, po-

dría indicar la presencia de cinabrio (HgS) y, finalmente, el Ca indicaría que se trata de un mortero de cal (CaCO_3).

La presencia simultánea de Fe y Hg en las pinturas de color rojo, aunque en distintas proporciones, nos indica que los colores se consiguieron mediante la mezcla de distintos pigmentos. En el caso de la muestra CT-Zócalo, el color rojo se consiguió combinando hematites (Fe_2O_3) con pequeñas cantidades de cinabrio (HgS). La mezcla de estos pigmentos ya ha sido sugerida por diversos autores (Siddal 2006) y se llevaba a cabo, tanto por la rareza y el alto coste del cinabrio, como para realzar con el cinabrio el brillo propio del rojo hematites. Por otro lado, el color rojo intenso de la muestra CT-U.E. 129, se consiguió utilizando casi exclusivamente cinabrio (HgS). El uso de estos minerales queda demostrado mediante la aplicación de la difracción de rayos-x, tal como mostramos a continuación.

Difracción de rayos X (XRD)

Los análisis de difracción de rayos X nos determinan la presencia de los diferentes componentes minerales presentes en la muestra. Así pues, el Fe, Hg y Ca detectados mediante EDXRF corresponden a hematites (Fe_2O_3), cinabrio (HgS) y calcita (CaCO_3) respectivamente. También se ha detectado, además, la presencia de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cuarzo (SiO_2) y diversos minerales de arcilla (illita y caolinita) (Figura 9).

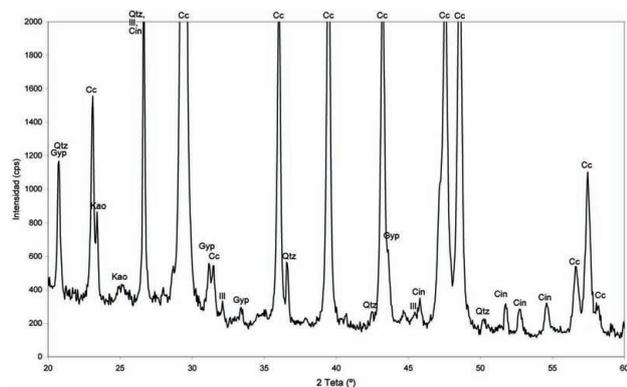


Fig. 9. Difractograma de la muestra CT-UE 129. Cc: calcita; Cin: cinabrio; Gyp: yeso; Ill: illita; Kao: caolinita; Qtz: cuarzo.

Dejando a parte la presencia de cuarzo, mineral químicamente estable y presente en muchos sedimentos, y que en nuestro caso procede de las mismas tierras de donde han sido extraídos los pigmentos (hematites y cinabrio), podemos explicar la presencia de los minerales de arcilla otorgándoles un origen natural y considerarlos como una mezcla *in situ* con la hematites. En relación con el cinabrio, podemos considerar que las arcillas han sido añadidas intencionadamente como aglutinante para dar una mayor plasticidad al pigmento y facilitar su aplicación en la capa pictórica.

Para confirmar la presencia de cinabrio en la muestra CT-UE129 ha sido necesario llevar a cabo un estudio más detallado, dado que el pico de mayor intensidad se solapa con otros picos y es difícil identificarlo. Para ello se hizo una preparación especial de la muestra, cubriendo con una lámina de aluminio la parte blancuzca, concentrando la radiación de rayos X únicamente sobre la parte decorada. De este modo se eliminó al máximo la interferencia de picos no deseados. El análisis se realizó por partes, destacando las zonas donde aparecen los picos característicos del cinabrio (Figura 10).

Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX)

Esta técnica ha permitido caracterizar la estratigrafía de las secciones y determinar el número de capas o aplicaciones existentes en las superficies pictóricas. El análisis químico elemental, mediante EDX, tanto de los soportes como de las

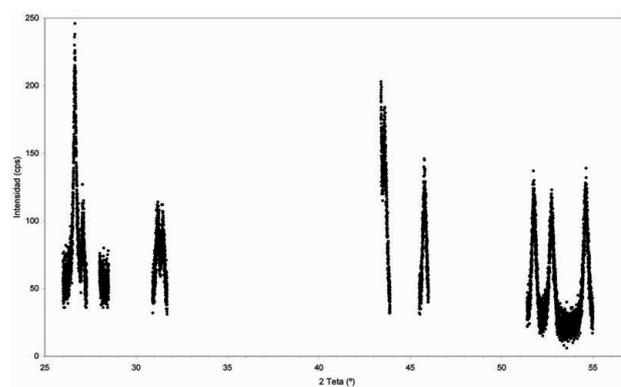


Fig. 10. Difractograma de la muestra CT-UE 129 donde aparecen los picos principales del *minium cinnabaris*, 2θ ($^\circ$): 26.42, 28.037, 31.08, 43.47, 45.57, 51.59, 52.3, 54.4. Condiciones de medida: 40 kV, 40 mA, stepscan de 0.001° , tiempo de contaje de 1s/paso.

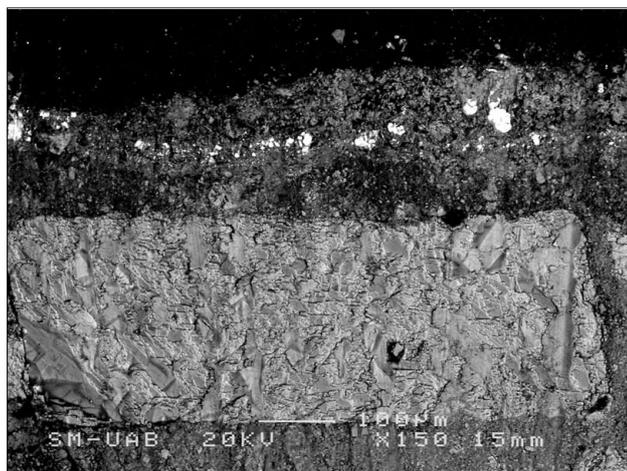


Fig. 11. Imagen de la muestra CT-Zócalo en modo de electrones retrodispersados a 150X.

superficies, corrobora, una vez más, los resultados obtenidos previamente con EDXRF. En ambas muestras se observa nuevamente la presencia de Fe, Hg y Ca.

En el caso de la muestra CT-Zócalo (Figuras 11 y 12), se ha observado la superposición de hasta cuatro capas (de arriba abajo):

- Film o pátina de acabado, que tenía no solamente una finalidad protectora sino que también servía para realzar el brillo de la pintura. A veces esta capa se hacía con cera derretida (Paternoste 2005).

- Capa pictórica, constituida principalmente por hematitas (Fe_2O_3).

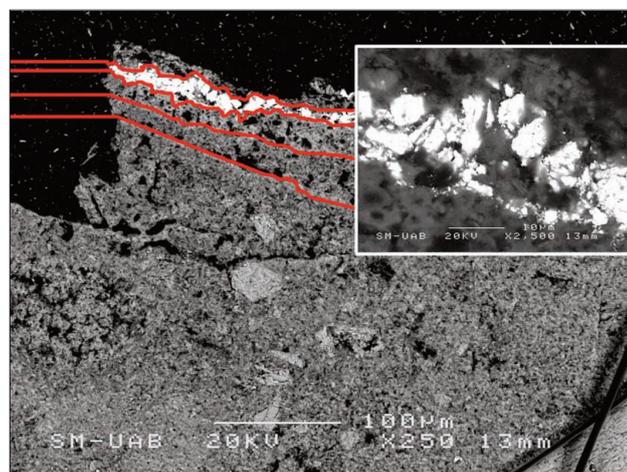


Fig. 13. Imágenes de la muestra CT-U.E. 129 en modo de electrones retrodispersados a 250X y 2500X aumentos.

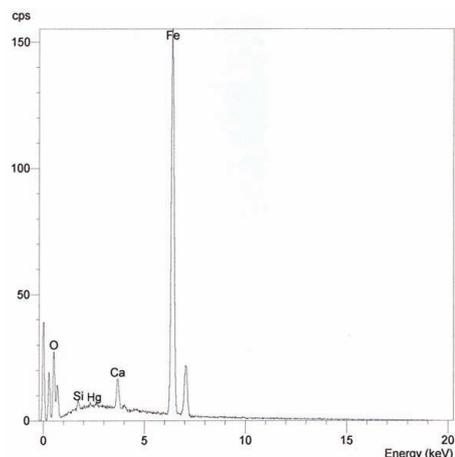


Fig. 12. Espectro EDX-SEM de la capa pictórica.

- Capa de preparación sobre la que se aplicaba la pintura. Podía estar formada por mortero sin carga (solamente aglutinante) o bien podía consistir en una simple lechada de cal (cal muy diluida en agua / $Ca(OH)_2$)

- Capa interna (enlucido), formada por un mortero de cal.

Las observaciones en modo de electrones retrodispersados de la muestra CT-U.E. 129 (Figuras 13 y 14) nos permite diferenciar claramente hasta 5 capas (de arriba abajo):

- Film o pátina de acabado de la pintura (de naturaleza orgánica).

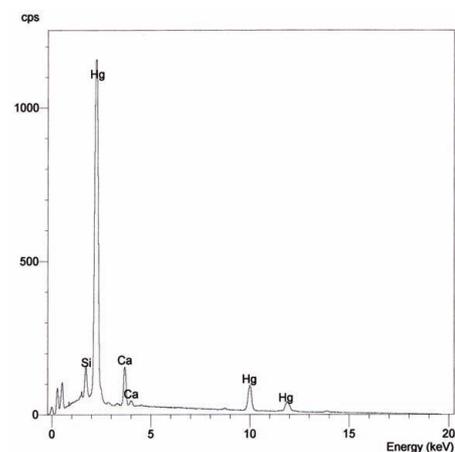


Fig. 14. Espectro EDX-SEM de la capa pictórica.

-Capa pictórica, constituida por mineral de Hg (cinabrio, HgS).

-Capa de preparación sin carga y con una textura muy fina, cosa que la distingue de la capa inferior.

-Segunda capa de preparación de composición semejante a la capa de preparación de la muestra anterior

-Capa interna (enlucido), formada por un mortero de cal.

IV. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el análisis de las superficies pictóricas se ha detectado principalmente la presencia de pigmentos tan preciados como el cinabrio (HgS). En el caso de la muestra CT-Zócalo, el rojo se consiguió mediante la mezcla de hematites (Fe₂O₃) con pequeñas cantidades de cinabrio (HgS). La mezcla de estos pigmentos ya ha sido sugerida en la literatura (Siddal 2006, Edreira et al. 2003) probablemente tanto por el alto coste del cinabrio como para realzar el brillo del rojo hematites. En el caso de la muestra CT-U.E. 129, el color se consiguió únicamente con cinabrio (HgS).

El estudio de los morteros, realizado mediante POM y SEM-EDX permite afirmar que estos estucos se prepararon cuidadosamente, con una carga de granulometría muy fina, componentes

bien seleccionados (calcita añadida) y una dosificación según los cánones clásicos del orden de 1:3 (una parte de aglomerante y 3 partes de arena). Asimismo, se ha puesto de manifiesto la superposición de morteros de diferente granulometría (argamasa y capas de preparación). Otro aspecto que nos permite determinar la calidad de estos estucos radica en el proceso de elaboración de las capas de preparación. La composición de éstos morteros no concuerda exactamente con la de los morteros del castellum descrita por Álvarez *et al.* 2008; la excepcional calidad de las muestras estudiadas en éste trabajo radica en su funcionalidad: las muestras son parte de la decoración pictórica, en la cual era necesario obtener un tono blanco más limpio y un acabado más fino.

El uso del cinabrio como pigmento (material escaso y de elevado coste) confirma una vez más la afirmación de J. Guitart, uno de los responsables de la excavación, de que el lugar debió ser residencia de un magistrado importante que, sin duda, mantenía una estrecha relación con Italia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración especial de D. Iglesias, por la ayuda prestada en el momento de seleccionar las muestras, y de Josep Elvira, Director Técnico del Servicio de Difracción de Rayos X del ICTJA-CSIC, éste estudio no hubiera sido posible sin su colaboración. A.Pitarch disfruta de una beca FPU del Ministerio de Ciencia e Innovación (ref. AP2006-4591).

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, A.; GUTIÉRREZ, A. y PITARCH, A. 2008: *Archaeometric study of materials from Can Tacó (Barcelona, Spain): tegulae and imbrex, mortars and stucco*. International Symposium on Archaeometry, Siena (Italy).
- DELAMARE, F. 1984: *La química de los frescos romanos. La Recherche* (versión en castellano) 41: 1109-1111.
- EDREIRA, M.C.; FELIU, M.J.; FERNÁNDEZ-LORENZO, C.; MARTÍN, J. 2003: *Spectroscopic analysis of roman wall paintings from Casa del Mitreo in Emerita Augusta, Mérida, Spain*. *Talanta* 59: 1117-1139.
- PATERNOSTER, G.; RINZIVILLO, R.; NUNZIATA, F.; CASTELLUCCI E.M.; LOFRUMENTO, C.; ZOPPI, A.; FELICI, A. C.; FRONTEROTTA, G.; NICOLAIS, C.; PIACENTINI, M.; SCIUTI, S. y VENDITTELLI, M. 2005: *Study on the technique of the Roman age mural paintings by micro-XRF with Polycapillary Conic Collimator and micro-Raman analyses*. *Journal of Cultural Heritage* 6: 21-28.
- SIDDAL, R. 2006: *Not a day without a line drawn: Pigments and painting techniques of Roman Artists*. In *focus magazine: the proceedings of the Royal Microscopical Society* 2: 18-31.
- VITRUBIO, M.P. 1980: *Los diez libros de la arquitectura*. Editorial Iberia Barcelona.

PINTURAS MURALES DE LA CIUDAD ROMANA DE IESSO: RESULTADOS PRELIMINARES DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PIGMENTOS MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

ROMAN WALL PAINTINGS FROM THE CITY OF IESSO: CHARACTERIZATION OF PIGMENTS BY MEANS OF NON DESTRUCTIVE TECHNIQUES

Africa Pitarch Martí (1) / Ignasi Queralt Mitjans (1) / Aureli Álvarez Pérez (2) / Josep Guitart Durán (3)

(1) *Laboratorio de Aplicaciones Analíticas de Rayos-X, Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC*

(2) *Dpto. Geología, Universidad Autónoma de Barcelona*

(3) *Dpto. Historia, Universidad Autónoma de Barcelona*

RESUMEN: Este trabajo trata sobre la primera aplicación del análisis mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) al estudio de pinturas murales de época romana en Cataluña. En el estudio, han sido analizados varios fragmentos decorados (relacionados con las pinturas de las estancias de la domus de Iesso, datada del s. II d. C.) en orden a determinar cuales fueron los elementos causantes de las distintas tonalidades así como realizar la caracterización de los materiales de soporte. Con el fin de confirmar y ampliar los resultados obtenidos mediante EDXRF, se han utilizado otras técnicas de análisis como la microscopía óptica de polarización (POM), la difracción de rayos X (XRD) y la microscopía electrónica de barrido con sistema de análisis de dispersión de energías acoplado (SEM-EDS). Las muestras del estudio presentan una gama de colores restringida constituida por colores rojo, ocre, verde, blanco y negro, todos ellos en distintas tonalidades. Los resultados obtenidos sugieren que se empleó una paleta con presencia de minerales clásicos de origen local. Aunque los colores rojos están principalmente compuestos por hematites se ha detectado la presencia de plomo en algunos espectros (que podría indicar o bien el uso de rojo de plomo o bien la utilización de blanco de plomo para la preparación de pigmentos); los amarillos y los verdes se obtuvieron a partir de óxidos de hierro que dan estas tonalidades; los blancos se elaboraron con calcita; y finalmente los colores negros no parecen ser de origen mineral. El estudio de los morteros utilizados en el estucado, realizado fundamentalmente mediante POM y SEM-EDS, ha puesto de manifiesto el uso de morteros de cal de diferente granulometría aplicados en capas superpuestas.

SUMMARY: This work deals with the first application of EDXRF to the study of Spanish Roman wall paintings from Catalonia (NE of Spain). In our study, several coloured fragments of wall paintings related with the Guissona Manor House rooms (2nd century A.D.) have been analyzed in order to determine the inorganic elements of various tonalities as well as to characterize the supporting material. In order to corroborate and improve the results obtained by means of EDXRF, other analytical methods have been used (such as Polarized Optical Microscopy (POM), X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy equipped with energy dispersive X-ray analysis system (SEM-EDS)). The palette comprises colors such as red, yellow, green, white and black (all of them varying from pale shades through to deep shades). According to the obtained results, the raw materials used are the most common employed in Roman wall paintings. Besides, local mineral sources seem to have been preferred in this city. Although the red colors are mainly composed by haematite, the presence of lead is detected in some samples, which might suggest the utilization of red lead or white lead mixed with haematites; yellow colors are mainly made with goethite; green pigments were obtained by means of one of the iron oxides responsible of these tonalities; white pigments are made with chalk; and last but not least, the black tonalities don't come from mineral origin. The study of the supporting material, carried out by means of POM and SEM-EDS, has pointed out the presence of superimposed layers composed by lime mortars (calcium carbonate) of different grain size.

PALABRAS CLAVE: Pintura mural romana, análisis EDXRF.

KEY WORDS: Roman wall paintings, EDXRF analysis.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los métodos analíticos procedentes del ámbito de las ciencias experimentales han tenido una aplicación puntera en el estudio de materiales del Patrimonio Cultural. En este sentido, la fluorescencia de rayos X por dispersión de energías (EDXRF) es una de las técnicas más ampliamente utilizadas, especialmente en la caracterización química no destructiva de pigmentos (Scott *et al.* 2009; Bonizzi *et al.* 2008; Desnica *et al.* 2008; Gil *et al.* 2008 y Sotiropoulou *et al.* 2008). Sin embargo al tratarse de una técnica de análisis elemental, no permite identificar tipología de los compuestos inorgánicos (minerales) utilizados en las pinturas. Con el fin de confirmar y ampliar los resultados obtenidos mediante EDXRF, además se han utilizado otras técnicas de análisis (como la microscopía óptica de polarización (POM), la difracción de rayos X (XRD) y la microscopía electrónica de barrido con sistema de análisis de dispersión de energías (SEM-EDS).

El estudio se enmarca dentro de la antigua ciudad amurallada de *Iesso* localizada en la región central catalana (Figura 1), con el fin de investigar los restos de pintura mural relacionados con las estancias de una gran *domus* de época imperial (siglo II d. C.) (Figura 2). Se cree que *Iesso* fue una de las primeras ciudades que se fundaron dentro de un extenso programa de colonización de la Hispania Citerior (actual Cataluña) que llevaron a cabo los romanos en un periodo comprendido entre el siglo II a. C. y el siglo I a. C. (Guitart 2006).

Las pinturas representan motivos florales y geométricos y presentan una paleta de colores restringida, constituida por el rojo, ocre, verde, blanco y negro, todos ellos en distintas tonalidades (Figura 3).

El estudio arqueométrico de las muestras permite obtener información relativa, por un lado, a la naturaleza de los pigmentos utilizados (naturales o sintéticos, orgánicos o inorgánicos), su posible procedencia (de origen local o de importación) y, por otro lado, caracterizar los materiales de soporte, describir la calidad de los estucos y determinar si siguen los modelos descritos

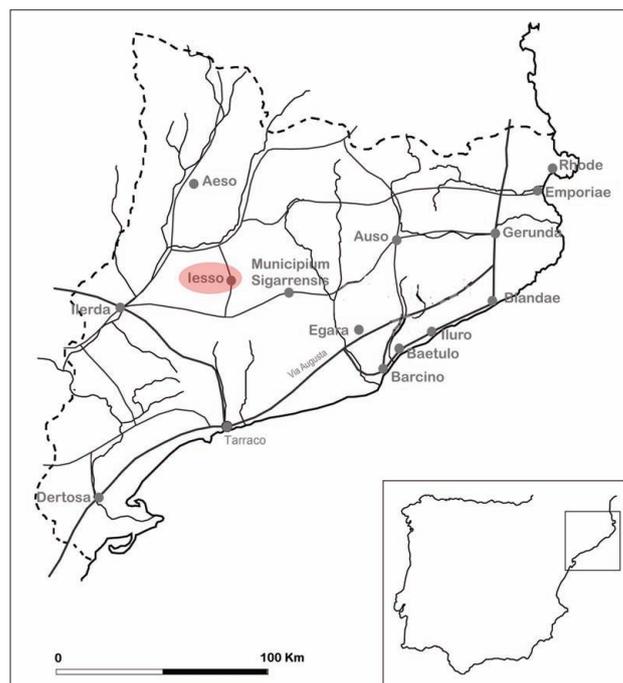


Fig. 1. Mapa de localización de la ciudad romana de *Iesso*.



Fig. 2. Vista aérea del yacimiento.



Fig. 3. Imagen de unas de las pinturas recuperadas.

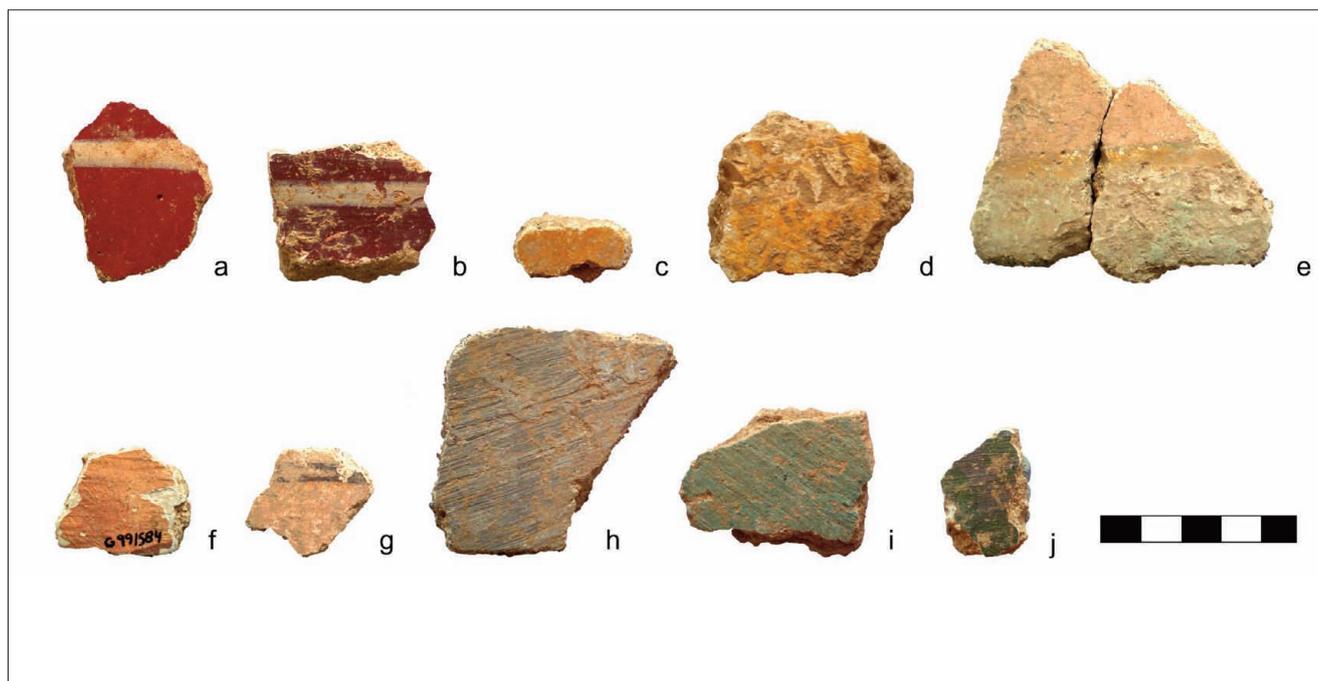


Fig. 4. Muestras analizadas.

por los autores clásicos. En definitiva, nos proporcionará una valiosa información complementaria acerca de la tecnología utilizada durante ésta época.

II. METODOLOGÍA

Materiales

En total han sido analizados 10 fragmentos decorados (Figura 4, tabla 1) en orden a determinar: a) los tipos de pigmentos inorgánicos utilizados y b) caracterizar los materiales de soporte.

Nombre	Referencia	Observaciones
a	G97/UE148 claro	Bicolor: rojo claro y blanco
b	G97/UE148 oscuro	Bicolor: rojo oscuro y blanco
c	G97/UE197	Amarillo mostaza
d	G/UE128	Amarillo claro
e	H13 grupo4	Tricolor: rosa, amarillo y verde claro
f	G99UE584	Rosa
g	H13 sin grupo	Bicolor: rosa y negro
h	H13-gris	Gris
i	G97/UE112	Verde
j	G961A	Verde oscuro

Tabla 1. Relación de muestras analizadas.

Dichos estucos decorados fueron recuperados a lo largo de la campaña de excavación que se llevó a cabo en la ciudad romana de *Iesso*, actual Guissona, entre los años 1996 y 1999, y están directamente relacionados con las pinturas de las estancias de una *domus* datada del siglo II d. C.

La selección de las muestras se realizó con el asesoramiento de los directores de la excavación y la colaboración del departamento técnico de restauración del asentamiento, seleccionando fragmentos representativos de cada variedad de color.

Equipamiento

El análisis de las superficies pictóricas se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Aplicaciones Analíticas del Instituto “Jaume Almera”, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, mediante un espectrómetro de fluorescencia Fischerscope® X-Ray XDAL® equipado con un tubo de W con ventana de Be, tres filtros de haz primario y 4 colimadores. Las condiciones de trabajo fueron las que siguen: 10-50kV de tensión, hasta 1mA de intensidad, con una potencia máxima de 50 W, colimador de 0.6mm de diámetro, filtro de Al y un tiempo de medida de 300s.

La identificación de las sustancias que comprenden las capas pictóricas se realizó en el mismo laboratorio mediante un difractómetro Bruker D8 Advance con cristal Göbbel primario, detector SOL-X y tubo de Cu. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes: 40kV y 40mA, con un stepscan de 0.05 grados y 3 segundos como tiempo de adquisición por paso.

La observación y caracterización estratigráfica de las secciones se llevó a cabo en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Autónoma de Barcelona mediante un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6300 con sistema de detección EDX Link Isis-200 y una resolución de 138 eV (boro-uranio). Puntualmente se utilizó el sistema de EDX (análisis elemental) para solventar los interrogantes generados sobre la naturaleza de algunos pigmentos.

La descripción microscópica y caracterización mineralógica de los morteros se hizo en laboratorio de microscopía del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona mediante la utilización de un microscopio óptico de polarización NIKON Eclipse E400 POL equipado con cuatro objetivos (4x, 10x, 20x y 40x). Las microfotografías se han hecho con una cámara NIKON COOLPIX5400 y un adaptador NIKON COOLPIX MDC Lens.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las superficies pictóricas: Caracterización de pigmentos minerales mediante EDXRF y XRD

Colores rojos

Si observamos las muestras de color rojizo (a, b, e, f y g- Figura 4), podemos distinguir diversas tonalidades (desde el rosa pastel hasta el granate). Todas las muestras presentan un espectro EDXRF donde aparecen los picos del Ca, el Sr y el Fe en distintas proporciones. Adicionalmente, en las muestras e y g, se detecta la presencia de Pb (Figura 5).

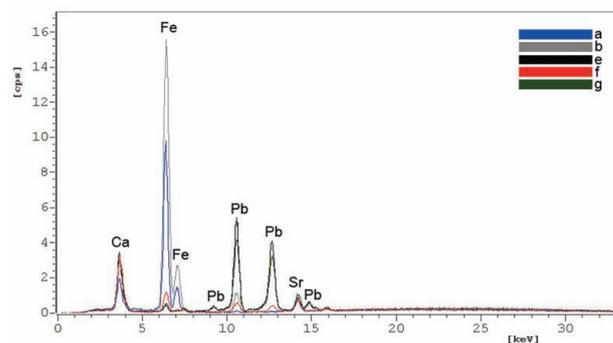


Fig. 5. Espectros EDXRF de las muestras a, b, e, f y g donde se aprecian con claridad los picos del Fe y el Pb correspondientes a las zonas rojizas. Adicionalmente se observan los picos del Ca y el Sr (capas de preparación).

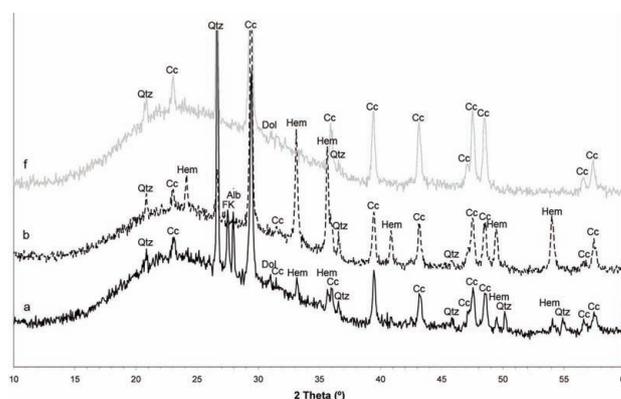


Fig. 6. Difractogramas de las muestras a, b, y f. Clave: Alb: albita; Cc: calcita; Dol: dolomita; Hem: hematites; FK: feldespato potásico; Qtz: cuarzo.

Los análisis XRD de las muestras a y b (Figura 6) determinan que los picos de Fe y Ca detectados por medio de la EDXRF corresponden a hematites (Fe_2O_3) y calcita ($CaCO_3$) respectivamente. La presencia de Sr, detectada en los espectros EDXRF, no es de extrañar ya que es un elemento de presencia habitual en la red cristalina de la calcita. El uso de hematites o rubrica como mineral que da el color no es extraño, dado que era uno de los pigmentos más frecuentemente utilizado, probablemente porque se trata de un mineral muy estable en diferentes ambientes y además es muy abundante en la naturaleza (Rapp 2009). En los difractogramas se detecta asimismo la presencia de albita ($NaAlSi_3O_8$), feldespato potásico ($KAlSi_3O_8$) y cuarzo (SiO_2). La albita, el feldespato potásico y el cuarzo provienen de la carga con que se preparó el mortero.

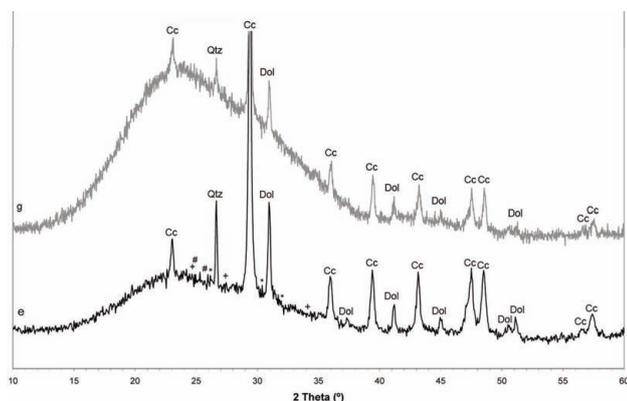


Fig. 7. Difractogramas de las muestras e y g. Clave: Cc: calcita; Dol: dolomita; Qtz: cuarzo; *: picos principales del rojo de plomo (*minium* (2 θ): 26.148; 30.374; 31.916); +: picos principales del blanco de plomo (hidrocerusita (2 θ): 24.641; 34.156; cerusita (2 θ): 24.829; 25.527).

En la muestra f (Figura 6) solo se observa la presencia de calcita (CaCO_3) y dolomita [(Ca, Mg (CO_3))], restos de la roca con que se preparó la cal, y cuarzo (SiO_2) procedente de la carga. Ninguna de estas especies minerales es la responsable del color rosáceo de la muestra, lo que sugiere que podría haberse utilizado un pigmento de origen orgánico.

En lo que se refiere al Pb presente en algunos espectros de EDXRF (muestras e y g, Figura 4), los análisis XRD (Figura 7) no detectan la utilización de rojo de plomo o minium secundarium (Pb_3O_4) como mineral que da el color, así como el uso de blancos de plomo (cerusita - PbCO_3 y hidrocerusita - $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) (véanse los picos *, + y # de la Figura 7). En los difractogramas se observa la presencia de calcita (CaCO_3) y dolomita [(Ca, Mg (CO_3))], restos de la roca con que se preparó la cal, y cuarzo (SiO_2), procedente de la carga.

Colores amarillos

Este color aparece en tres de las muestras seleccionadas (c, d y e).

Los espectros EDXRF confirman nuevamente la presencia de Ca, Sr y Fe (Figura 8). De acuerdo con los resultados de los análisis de XRD, en el caso de las muestras c y d (Figura 9) la coloración amarillenta se debe a la presencia de goethita [$\text{FeO}(\text{OH})$]. En lo que se refiere a la muestra e (Figura 9), no ha sido posible determinar mediante

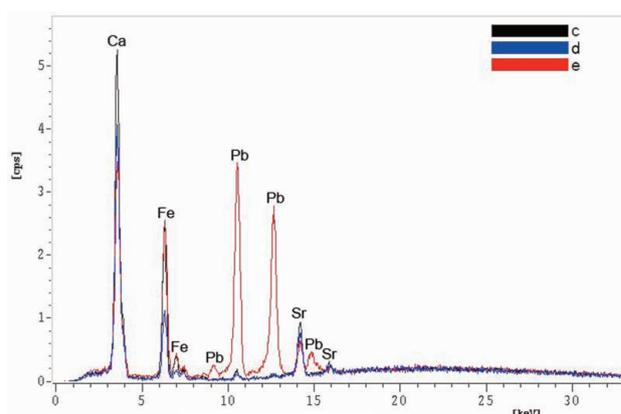


Fig. 8. Espectros EDXRF de las muestras c, d y e donde se aprecian los picos del Fe, el Ca y el Sr. La muestra e, además, contiene Pb.

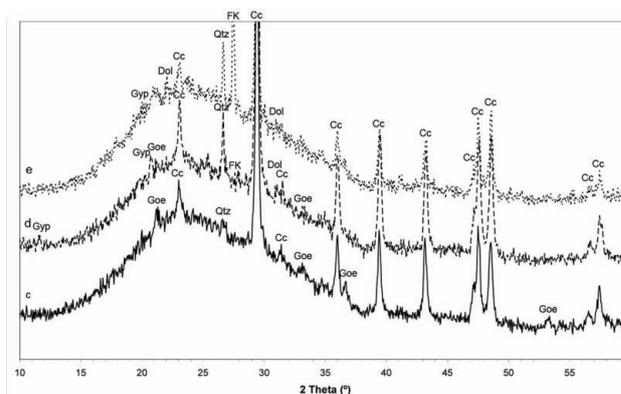


Fig. 9. Difractogramas de las muestras c, d y e. Clave: Cc: calcita; Dol: dolomita; Goe: goethita; Gyp: yeso; FK: feldespatopotáxico; Qtz: cuarzo.

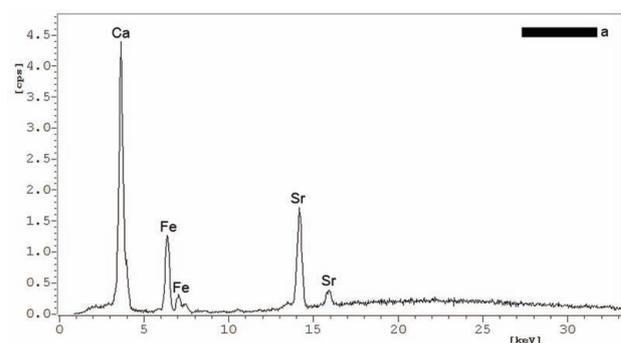


Fig. 10. Espectro EDXRF de la muestra a. Los picos de Fe, Ca y Sr son los más notables.

XRD cual es la especie mineral causante del color amarillo (se descarta además el uso de *massicot* - PbO). Probablemente se deba a uno de los múltiples óxidos hidratados de hierro de estructura cristalina poco definida y por lo tanto difícil de precisar mediante XRD. Además se observa la presen-

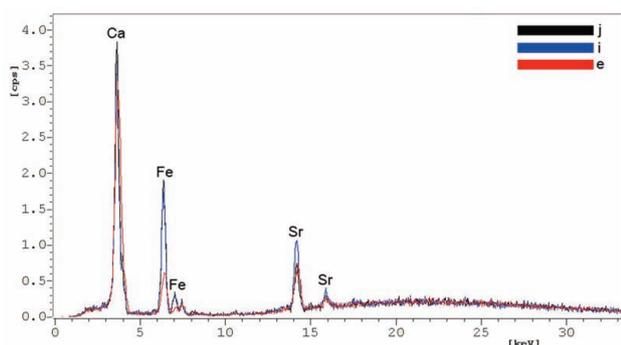


Fig. 11. Espectros EDXRF de las muestras e, i y j donde se observa la presencia de Fe, Ca y Sr.

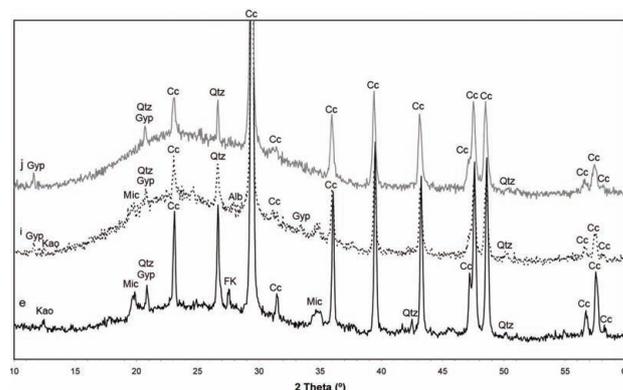


Fig. 12. Difractogramas de las muestras a, b, y f. Clave: Alb: albita; Cc: calcita; FK: feldespato potásico; Gyp: yeso; Kao: caolinita; Mic: micas y Qtz: cuarzo.

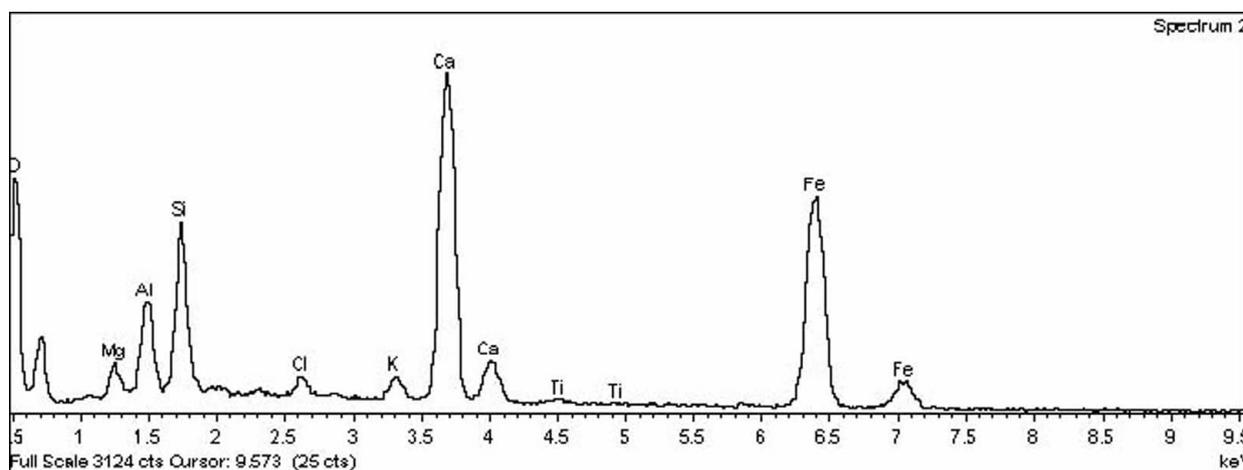


Fig. 13. Espectro EDX de las muestras i donde se observa la presencia de Al, Si y Fe entre otros.

cia de calcita (CaCO_3) y dolomita [$(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$], restos de la roca con que se preparó la cal, y cuarzo (SiO_2) y el feldespato potásico (KAlSi_3O_8) procedentes de la carga.

Colores blancos

Las muestras a y b son las que presentan esta coloración como parte de su decoración.

En los espectros EDXRF (p.e. muestra a, Figura 10) solamente aparece el Ca como elemento relacionado con compuestos que puedan dar esta coloración (en este caso la calcita). La ausencia de los picos de Pb y Zn descarta la utilización de compuestos de plomo (como por ejemplo la hidrocerusita $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ y la cerusita PbCO_3) y de compuestos de zinc (como el óxido de zinc, ZnO) pigmentos muy utilizados en época romana (Mazocchin 2006; Siddal 2006).

Colores verdes

El color verde aparece en diversas tonalidades (desde el verde pastel hasta el verde oliva) en un total de 3 muestras (e, i y j).

Los espectros EDXRF confirman una vez más la presencia de Ca, Sr y Fe (Figura 11). Los difractogramas (Figura 12) determinan la presencia de varios minerales (albita, calcita, dolomita, caolinita, yeso, moscovita, feldespato potásico y cuarzo) aunque ninguno de estos es el causante del color verde.

Plinio (Plinio, Ed. 1952) describe que los colores verdes se derivan de minerales como la malaquita [$\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$] o las tierras verdes (que contienen silicatos como la glauconita [$\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$] y la celadonita [$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Fe}_3^+, \text{Al})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]). En el análisis EDX se detecta la presencia de Si y Al, lo que podría

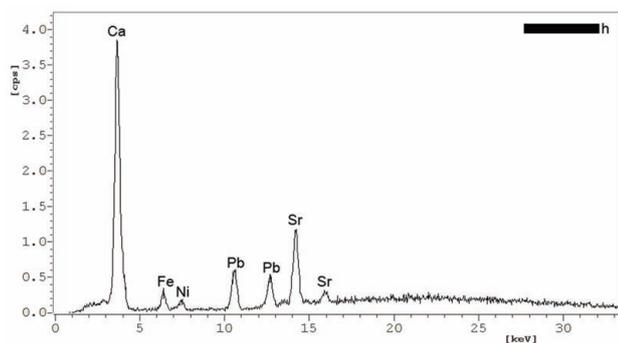


Fig. 14. Espectro EDXRF de la muestra h. Se observa la presencia de Fe, Ca y Sr. Además se ha detectado Pb como en el caso de la muestra e (ambas muestras corresponden a la misma estancia).

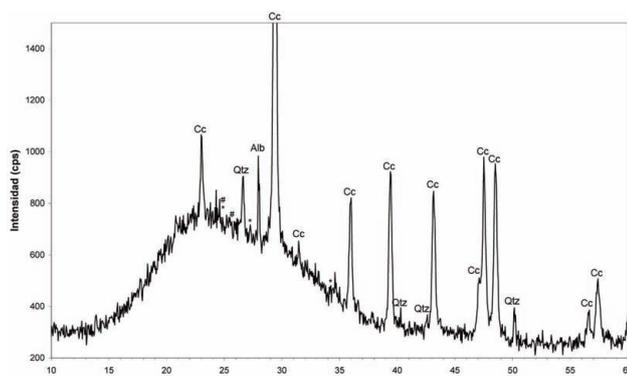


Fig. 15. Difractograma de la muestra h. Clave: Alb: albita; Cc: calcita; Qtz: cuarzo; *: picos principales de la hidrocerusita (2θ): 24.641; 34.156; #: picos principales de la cerusita (2θ): 24.829; 25.527).

corresponder a la existencia de tierras verdes (Figura 13). Los análisis de XRD detectan la presencia de calcita, cuarzo, feldespato potásico, albita yeso y algunas micas. Entre estas micas podría estar la glauconita, imposible de distinguir mediante XRD de la moscovita $[KAl_2(Al,Si)_4O_{10}(OH,F)_2]$, por ejemplo.

Color gris

Normalmente los grises se obtenían o bien mediante el uso de un negro orgánico, tipo hollín o carbón vegetal o bien mediante el uso de negros minerales tipo grafito (imposibles de ser determinados con EDXRF). Existen otros negros de origen mineral como el apatito $[Ca_3(PO_4)_2]$, la pirolusita (MnO) o la ramsdellita (MnO₂) (Rapp 2009; Siddal 2006).

En el espectro EDXRF del fragmento analizado (h), además de Ca, Sr y Fe se observa la presencia de Pb (Figura 14). La ausencia del Mn descarta el uso de pirolusita y/o ramsdellita.

En el análisis de difracción de rayos X (Figura 15) se detectan la existencia de calcita, cuarzo y albita. Ninguna de estas especies minerales es la responsable del color grisáceo de la muestra.

La ausencia de picos característicos del apatito, grafito, pirolusita y ramsdellita en los espectros XRD, nos hace pensar que el color grisáceo se consiguió mediante el empleo de algún pigmento de tipo orgánico o amorfo.

Por otro lado, la presencia de Pb en los espectros EDXRF podría indicar la utilización de blanco de plomo (hidrocerusita $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ y cerusita $PbCO_3$) (Figura 14); sin embargo, los análisis de difracción tampoco han permitido determinar la presencia de estos compuestos; véanse los picos etiquetados con * y # de la figura 15).

Caracterización de los materiales de soporte

Descripción mineralógica y textural mediante POM

De acuerdo con las observaciones hechas con el microscopio petrográfico (Tabla 2), los morteros de cal estudiados pueden catalogarse como materiales de muy buena calidad y una gran finura. Dichos morteros se caracterizan por una dosificación 1:3, carga heterogranular seriada (de granulometría fina a gruesa) distribuida homogéneamente y una porosidad baja a media, con poros pequeños y redondeados. Excepcionalmente se observa la presencia de fracturas de contracción concentradas principalmente en la última capa del enlucido. La composición de la carga está constituida por minerales de origen granítico y fragmentos de calizas, areniscas, esquistos y granitoides, además de restos de bivalvos y en algún caso (i) fragmentos cerámicos.

Referencia	Calidad	Distrib. de los granos	Granulometría	Minerales			Fragmentos de rocas				Otros	Dosificación	Porosidad		
				Qtz.	Ort.	Alb.	Cc	Cal.	Esq.	Gran.				Are.	
a	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular seriada (muy fina a gruesa)	x	x					x	x	x		1:1	Media
b	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular seriada (muy fina a gruesa)	x	x					x			Plag.	1:3	Media
c	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: media y gruesa	x	x	x		x	x			x	Frag. Bivalvos	1:6	Media
d	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular seriada: fina a gruesa	x	x	x		x	x			x		1:6	Media
e	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: media y gruesa	x	x	x		x	x	x			Frag. Bivalvos	1:3	Media-alta
f	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: fina y media	x	x			x				x	Frag. Bivalvos	1:3	Baja
g	Acabado fino	Homogénea						x	x	x	x		Frag. Bivalvos	1:6	Media
h	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: fina y gruesa	x	x		x	x						1:3	Baja
i	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: media y muy gruesa	x	x		x	x	x			x	Frag. Cerámica	1:3	Media-alta
j	Acabado fino	Homogénea	Heterogranular no seriada: muy fina y gruesa	x				x	x	x			Frag. Bivalvos	1:3	Baja

Clave. Qtz: cuarzo Ort: ortosa Alb: albita Cc: calcita Cal: calizas Esq: esquistos Gran: granitoides Are: areniscas

Tabla 2. Caracterización textural y mineralógica de los estucos mediante POM.

Estudio detallado de la estratigrafía de las secciones mediante SEM-EDS

Aunque es posible hacer un estudio de la estratigrafía de las secciones mediante POM, la utilización del SEM-EDS nos permite realizar una descripción mucho más detallada, a menor escala de trabajo. En la figura 16, por ejemplo, se puede observar la superposición de 3 capas, mientras que en la figura 17 es posible distinguir hasta 5 capas.

El principal conocimiento que tenemos sobre el proceso de elaboración de las pinturas murales de época romana proviene de las escasas fuentes textuales de autores contemporáneos como Plinio y Vitrubio. Según estos tratados, la pintura mural está compuesta por una capa preparatoria (*tectorium*) compuesta a su vez por tres o más (hasta 6) capas: empezando por la pared, primero está el *arricio*, constituido por tres capas



Fig. 16. Microfotografía de la muestra b en modo de polarizadores cruzados a 4 aumentos.

de cal y arena, y después el *intonaco*, compuesta por tres capas más de cal o polvo de mármol. La pintura se extendía sobre el *tectorium* aún húmedo.

Referencia	Num. Capas	Descripción
a	2	mortero de base
b	5	mortero de base, dos capas de preparación y dos capas pictóricas
c	3	mortero de base, capa de preparación y capa pictórica
d	4	mortero de base, capa de preparación y dos capas pictóricas
e	3	mortero de base, capa de preparación y capa pictórica
f	5	mortero de base, dos capas de preparación y dos capas pictóricas
g	3	mortero de base, capa de preparación con fracturas de contracción y capa pictórica
h	4	mortero de base, dos capas de preparación y capa pictórica
i	4	mortero de base, dos capas de preparación y capa pictórica
j	4	mortero de base, dos capas de preparación y capa pictórica

Tabla 3. Estratigrafía de las secciones. Relación de capas.

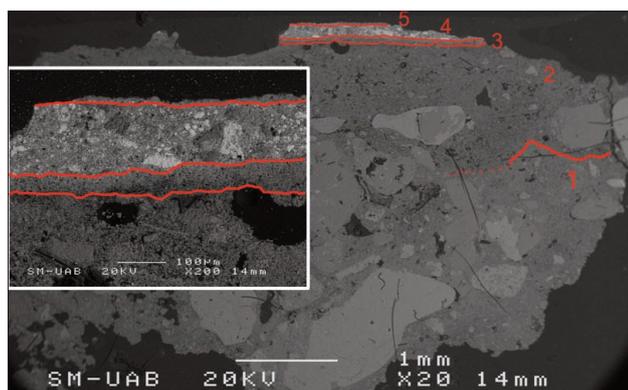


Fig. 17. Imágenes SEM-EDS de la muestra b en modo de electrones retrodispersados a X20 y X200. En la fotografía se puede apreciar la superposición de hasta 5 capas. De abajo a arriba: 1. Mortero de base; 2 y 3. Capas de preparación; 4. Capa pictórica de color rojizo constituida por una mezcla de óxido de Fe y Pb; 5. Capa pictórica blanca formada por carbonato cálcico.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio (Tabla 3), se han definido un máximo de 5 capas de preparación, por lo que consideramos que no se siguieron las pautas definidas en los tratados clásicos para la elaboración de éstas pinturas.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados preliminares obtenidos sugieren que se empleó una paleta con presencia de minerales de origen local. El color rojo está principalmente compuesto por hematites - Fe_2O_3 ; el amarillo está compuesto básicamente por óxidos

de hierro como la goethita - $\text{FeO}(\text{OH})$ y los blancos se elaboraron con calcita (CaCO_3). No ha sido posible definir con exactitud la naturaleza de los pigmentos de color verde y de color negro con las técnicas utilizadas. En el caso del color verde, los análisis SEM-EDX detectan Al, Si y Fe (que podrían indicar la presencia de tierras verdes). En referencia al color negro, los resultados parecen indicar que tenga un origen orgánico.

Por otro lado, se ha detectado la presencia de plomo en algunas muestras (e y g) que podría indicar o bien la utilización del rojo de plomo (*minium*) o bien la utilización del blanco de plomo (*cerussa*). Ninguno de estos compuestos ha sido detectado mediante XRD.

Actualmente se está realizando un estudio más detallado en orden a determinar la naturaleza de los colores verdes y grises y el significado que tiene la presencia del Pb en algunas muestras.

Aunque la presencia de las tonalidades rojizas es muy amplia, cabe denotar la ausencia de pigmentos rojos más caros como el *minium cinnabaris* o el *caput mortum*, que se encuentran en otras pinturas romanas de Cataluña (como en la decoración parietal del *castellum* de Can Tacó-Turó d'en Roïna s. II a. C., o la Nemesi del anfiteatro de *Tarraco* s. III d. C. (Pocostales 2008)) y en otros lugares de España (Villa y Edwards 2005; Domínguez-Bella 2004 y Edreira *et al.* 2004.)

En cuanto a los morteros utilizados en el estucado, podríamos decir que todos ellos son de cal. El estudio de éstos, ha puesto de manifiesto la existencia de morteros de diferente granulometría aplicados en capas superpuestas. En general podríamos afirmar que se trata de morteros bien preparados, con una dosificación 1:3, granulometría heterogénea seriada (de fina a gruesa) distribuida homogéneamente y porosidad de baja a media.

Según los resultados obtenidos, parece que se utilizaron diversos procesos de elaboración radicando en su funcionalidad o momento de fabri-

cación, pero que en ningún caso se sigue exactamente el proceso de elaboración de pintura mural descrita por los autores clásicos.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido financiado por una Ayuda de alcance local y comarcal (2009 ACOM 00017) del Comisionado para Universidades e investigación del DIUE de la Generalitat de Cataluña. A.Pitarch disfruta de una beca FPU del Ministerio de Ciencia e Innovación (ref. AP2006-4591).

BIBLIOGRAFÍA

- BONIZZI, L.; CAGLIO, S.; GALLI, A.; POLDI, G. 2008: "A non invasive method to detect stratigraphy, thicknesses and pigment concentration of pictorial multilayers based on EDXRF and vis-RS: in situ applications". *Applied Physics A* 92 (1): 203-210.
- DESNICA, V.; SKARIC, K.; JEMBRIH-SIMBUERGER, D.; FAZINIC, S.; JAKSIC, M.; MUDRONJA, D.; PAVLICIC, M.; PERANIC, I.; SCHREINER, M. 2008: "Portable XRF as a valuable device for preliminary in situ pigment investigation of wooden inventory in the Trski Vrh Church in Croatia". *Applied Physics A* 92 (1): 19-23.
- DOMÍNGUEZ BELLA, S. 2004: "Pinturas murales romanas en la neápolis gaditana (Cádiz). Anàlisis de pigmentos minerales y caracterización de estucos". *Avances en Arqueometría* 2003: 201-207.
- EDREIRA, M.C.; FELIU, M.J.; FERNÁNDEZ-LORENZO, C.; MARTÍN, J. 2003: "Spectroscopic analysis of roman wall paintings from Casa del Mitreo in Emerita Augusta, Mérida, Spain". *Talanta* 59 (6): 1117-1139.
- GIL, M.; CARVALHO, M.L.; SERUYA, A.; RIBEIRO, ALVES, P.; GUILLERME, A.; CAVACO, A.; MIRAO, J.; CANDEIAS, A.E. 2008: "Pigment characterization and state of conservation of an 18th century fresco in the Convent of S. Antonio dos Capuchos (Estremoz)". *X-Ray Spectrometry*, 37: 328-337.
- GUITART, J. 2006: "Iluro, Baetulo and Iesso and the establishment of the Roman town model in the territory of present-day Catalonia". En L. Abad; S. Keay y S. Ramallo (eds.): *Early roman towns in Hispania Tarraconense (2nd century BCE-1st century AD)*, Portsmouth, Rhode Island, USA, Journal of Roman Archaeology, (Journal of Roman Archaeology; Supplementary series, 62).
- MAZZOCHIN, G.A.; ORSEGA, E.F.; BARALDI, P. y ZANNINI, P. 2006: "Aragonite in roman wall paintings of the VIII^a Regio, Aemilia, and X^a Regio, Venetia et Histria". *Annali di Chimica*, 96: 377-387.
- PLINIO, 1952: *Historia Natural*; Traducido por J. Cantó; S. González; I. Gómez y E. Tarrío. Ediciones Cátedra, Madrid.
- POCOSTALES, L. 2008: *Estudi de la metodologia de recerca per pintura mural romana. La Nemesis de l'amfiteatre de Tarraco*. Tesina del DOCTORAT Interuniversitari d'Arqueologia Clàssica (UAB-URV).
- RAPP, G. 2009: "Pigments and Colorants". En HERRMANN, B. & WAGNER G.A. (Series Eds.) *Archaeomineralogy, 2nd ed., Natural Science in Archaeology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 201-221.
- SCOTT, D.A.; WARMLANDER, S.; MAZUREK, J.; QUIRKE, S. 2009: "Examination of some pigments, grounds and media from Egyptian cartonnage fragments in the Petrie Museum, University College London". *Journal of Archeological Science* 36 (3): 923-932.
- SIDDAL, R. 2006: "Not a day without a line drawn: Pigments and painting techniques of Roman Artists". In *Focus magazine: the proceedings of the Royal Microscopical Society* 2: 18-31.
- SOTIROPOULOU, S.; DANILIA, S.; MILLAN, C.; ROSI, F.; CARTECHINI, L.; PAPANIKOLA-BARKIRTZIS, D. 2008: "Microanalytical investigation of degradation issues in Byzantine wall paintings". *Applied Physics A* 92 (1): 143-150.
- VILLA, S.E.J. y EDWARDS, H.G.M. 2005: "An extensive colour palette in Roman villas in Brugos, Northern Spain: a Raman spectroscopic analysis". *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 382:283-289
- VITRUBIO, M.P. 1980: *Los diez libros de la arquitectura*. Editorial Iberia Barcelona.

CARACTERIZACIÓN DE LA COLECCIÓN DEL MUSEO DE BELLAS ARTES DE SEVILLA MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS DE ANÁLISIS

CHARACTERIZATION OF THE COLLECTION IN THE FINE ART'S MUSEUM OF SEVILLE USING NON-DESTRUCTIVE ANALYTICAL TECHNIQUES

Anabelle Križnar (1) / María del Valme Muñoz Rubio (2) / Fuensanta de la Paz Calatrava (2) / Miguel Ángel Respaldiza Galisteo (1) / Mercedes Vega Toro (2)

(1) Centro Nacional de Aceleradores, Universidad de Sevilla

(2) Museo de Bellas Artes de Sevilla

RESUMEN: En los últimos tres años se ha desarrollado un Proyecto de investigación, financiado por la Junta de Andalucía dentro del programa de Proyectos de Excelencia y ha tenido como título el de esta comunicación. El Proyecto ha estado dedicado a la caracterización de una parte de las obras de arte que componen la colección del Museo de Bellas Artes de Sevilla. Se trata de un trabajo interdisciplinar, con la participación de historiadores del Arte, restauradores, conservadores, físicos y químicos. Persigue un doble objetivo: una caracterización científica no destructiva de las distintas obras para servir de apoyo en las tareas de restauración y conservación, así como en su utilización complementaria de las diferentes técnicas no destructivas. En el transcurso del Proyecto y hasta la fecha se han analizado alrededor de treinta obras, pintura sobre tabla y lienzo, así como esculturas policromadas, un dibujo en papel y un azulejo. La mayoría de las pinturas y esculturas son de los siglos XV y XVI, realizadas por los artistas pertenecientes a las escuelas flamenca y sevillana, en las que se intentará profundizar mediante futuras colaboraciones entre el Museo y el Centro Nacional de Aceleradores (CNA). Los análisis permiten obtener información importante sobre los pigmentos inorgánicos empleados, sus posibles cambios químicos, la paleta del artista, así como identificar posibles intervenciones posteriores.

SUMMARY: Over the last three years, an investigation project supported financially by the Regional Government of Andalusia's program of "Proyecto de Excelencia" was developed, bearing the same name as this publication. This project focused on the characterization of selected artworks in the collection of the Fine Arts Museum of Seville. The interdisciplinary approach counts with a collaboration of art historians, restorers, conservators, physicists and chemists. It followed a dual purpose: a non-destructive scientific characterization of different works of art with a view to help the restoration and conservation thereof, and to expand the complementary use of different non-destructive techniques. From the start of the project and up to this date, about thirty artworks were analysed, among which panel and canvas paintings prevail. Polychrome sculptures, a sketch on paper and a glazed tile (azulejo) were studied as well. The majority of the paintings and sculptures are from the 15th and 16th Centuries and were carried out by artists from Flemish and Seville schools. Both schools will be studied more thoroughly during future collaborations between the Museum and National Centre of Accelerators (CNA). The analyses allow important discoveries about original pigments applied, their possible chemical changes, the artist's colour palette, as well as discover possible later interventions.

PALABRAS CLAVE: Pigmentos, pintura, escultura, técnicas no destructivas de análisis, trabajo interdisciplinar.

KEY WORDS: Pigments, paintings, sculpture, non-destructive technical analysis, interdisciplinary work.

I. INTRODUCCIÓN

El Museo de Bellas Artes de Sevilla alberga una colección de excepcional calidad artística y de naturaleza diversa (pintura, escultura, dibujos, cerámica, orfebrería, etc.), dentro de la cual destaca la obra de grandes maestros del siglo XVII como Zurbarán, Murillo y Valdés Leal, así como una im-

portante colección de arte flamenco e italiano del Renacimiento y Barroco (Francken, Martín de Vos o Torrigiano). También cuenta con personalidades artísticas singulares como El Greco, Cranach, Ribera, Pacheco o Alonso Vázquez (Moreno Mendoza *et al.* 1991).

El Proyecto de investigación que resumimos

en este trabajo ha perseguido un doble objetivo: dar respuesta a la necesidad de una caracterización científica no destructiva de los distintos objetos que componen una parte significativa de la valiosa colección del Museo para ayudar en las tareas de restauración y conservación, así como profundizar en la utilización complementaria de las diferentes técnicas no destructivas (FRX y otras técnicas portátiles, PIXE, Radiación Sincrotrón) asequibles al Grupo investigador en la resolución del primer objetivo.

El trabajo está pensado y organizado como una colaboración interdisciplinar entre los investigadores del Centro Nacional de Aceleradores y del Museo de Bellas Artes. Su finalidad es analizar una serie de obras de arte seleccionadas para obtener más información sobre los pigmentos empleados, sus posibles cambios químicos o incluso identificar retoques y repintes posteriores. Dichos resultados pueden revelar la paleta característica de un pintor o de una escuela artística, así como una información útil también para la autenticación de obras de arte.

II. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

En el transcurso del Proyecto se formó primero una base de datos de pigmentos puros y luego se prosiguió con análisis de obras de arte seleccionadas, tanto de las que pertenecen al Museo de Bellas Artes de Sevilla como, en una ocasión con el permiso pertinente, de algunas de las que formaban parte de una exposición temporal relacionadas con la colección del Museo. La técnica que más se ha empleado hasta ahora, es sobre todo la fluorescencia de rayos X portátil (FRX), que permite un análisis no destructivo *in situ* (Volpin 2002; Aldrovandi *et al.* 2003; Gómez 2000; Seccaroni *et al.* 2004) sin necesidad de mover la obra de arte (Figura 1). Las medidas en las salas de exposición se realizan durante los días en que el museo está cerrado al público.

El equipo de FRX usa un tubo de Rayos X de 30 kV con el ánodo de W y un detector SDD con una resolución en energías de 140 eV. Un sistema de dos láseres ayuda a mantener la reproducibilidad en el posicionamiento del punto de análisis. La



Fig. 1. Medidas *in situ* en el Museo de Bellas Artes de Sevilla con el equipo portátil de FRX. Escultura en barro policromado *Virgen de Belén* por Pietro Torrigiano.

evaluación semi-cuantitativa se llevó a cabo usando directamente las áreas de los picos de FRX obtenidas en el analizador multicanal. Estas áreas pueden ofrecernos una estimación semi-cuantitativa de los elementos presentes en la muestra porque son proporcionales a las concentraciones en peso de dichos elementos y su raíz cuadrada nos sirve como estimación de la indeterminación asociada al área del pico de fluorescencia.

III. RESULTADOS

A continuación se presentan algunas de las obras de arte analizadas que abarcan toda la gama de las piezas seleccionadas y destacan por su importancia artística o por los resultados obtenidos. Se ha podido, sobre todo, identificar la mayoría de los pigmentos empleados en los cuadros y en las policromías de las esculturas. Se trata en su mayoría de pigmentos tradicionales, empleados en la Edad Media, mientras que los pigmentos modernos encontrados revelan presencia de retoques posteriores (Gettens *et al.* 1966; Doerner 1984; West Fitzhugh 1987-2007; Pacheco 1990; Montagna 1993; Knoepfli *et al.* 1990; Schramm 1995; Serchi 1999; Wehlte 2005; Eastaugh 2008). Sin embargo, la principal limitación de la técnica FRX, que no detecta elementos químicos con el número de Z más bajo que 13 o 14, consiste en no poder identificar colorantes orgánicos, además de no ser posible, en algunos casos, distinguir entre varios pigmentos basados en el mismo elemento químico

(Seccaroni *et al.* 2004: 4-5). Los resultados obtenidos con esta técnica son elementales y no moleculares. Así, por ejemplo, para un verde a base de cobre o de un pigmento a base de plomo no se puede identificar exactamente el pigmento empleado. A veces nos sirve de ayuda el color visible que estamos analizando (por ejemplo blanco, amarillo o rojo en el caso de plomo), pero no siempre es así, sobre todo si el color es una mezcla de varios pigmentos diferentes. Sin embargo, los resultados que se pueden obtener ofrecen información significativa, como lo demuestran los siguientes ejemplos descritos.

Anónimo: Retablo de la Pasión de Cristo, pintura sobre tabla (hacia 1415)

Es una de las obras más antiguas de la exposición permanente del Museo de Bellas Artes. Representa las escenas de la Pasión de Cristo: la *Oración en el huerto*, la *Flagelación*, *Cristo camino a Calvario*, la *Crucifixión* y la *Piedad* (Figura 2). Los análisis de los pigmentos por FRX dieron los siguientes resultados: el pigmento blanco, presente en la preparación y como color, es el blanco de Pb. El color rojo de los ropajes es sobre todo cinabrio, identificado por picos altos de Hg, al cual se le añadió también una pequeña parte de ocre rojo, como lo demuestran picos bajos de Fe. Los dos pigmentos rojos se emplearon así mismo para las carnaciones, mezclados con blanco de Pb. El pintor tuvo que emplear incluso un tercer pigmento rojo, que en este caso tiene que ser un colorante orgánico, quizás carmín. El análisis del cristo seráfico rojo en la escena de la *Piedad* no identificó ningún pigmento inorgánico, lo que señala hacia el uso de una sustancia orgánica, imposible de detectar con FRX. El color violeta se consiguió mezclando cinabrio y azurita. El azul de los ropajes y del cielo fue pintado con azurita. Para el color verde se empleó un pigmento a base de cobre, que no se puede identificar con más exactitud con la técnica de FRX. En base a la tonalidad más oscura, que en algunas zonas va hacia marrón, es posible afirmar que probablemente el pigmento empleado sea verdigris. El color marrón se consiguió con sombra natural o tostada y, en otros casos, con ocre amarillo tostado. El pigmento negro es una sustancia orgánica



Fig. 2. Anónimo: *Retablo de la Pasión de Cristo*, pintura sobre tabla (hacia 1415).

que tampoco se puede detectar con FRX. Los nimbos están dorados y el oro, confirmado por los intensos picos de este elemento, está dispuesto sobre una base de una arcilla especial rica en óxido de hierro (bol). En muchos puntos, los picos altos de Ba y Zn descubren el empleo de litopón, mientras que en algunas áreas rojas se ha descubierto rojo de Cd. Ambos pigmentos son modernos y revelan retoques posteriores (Križnar *et al.* 2008a).

Marcelo Coffermans: Díptico de la Anunciación y Visitación, pintura sobre tabla (hacia 1570)

El díptico pertenece a la colección del arte flamenco del. Representa dos escenas de la vida de la Virgen, la *Anunciación* y la *Visitación*. Réplicas del cuadro, realizadas por el mismo Coffermans, se encuentran hoy en diferentes museos del mundo. Los colores de ambas tablas, aunque intensos, se han visto en algunos casos alterados, como lo demuestran los resultados de los análisis. (Križnar *et al.* en prensa). La mayor alteración la han sufrido el ropaje de María en ambas escenas, la túnica del ángel en la *Anunciación* y el cielo en la *Visitación*. Las vestiduras de la Virgen tiene en la actualidad un aspecto marrón-verdoso, la túnica del ángel es de un tono parduzco y en el cielo se ven algunas manchas oscuras. Los resultados de los análisis revelaron que todas estas zonas originalmente eran azules, pintadas con azul esmalte (Co, Ni, As, Bi). Este pigmento vidrioso perdió su color a causa de alteraciones químicas (Eastaugh 2008: 351-352). El color blanco es el blanco de plomo, empleado también en la preparación y añadido a otros pigmentos para aclararlos. El verde es un pigmento a base de Cu (verdigris o un resinato de cobre), que se presenta en diferentes tonalidades. Las encarnaduras fueron hechas de una mezcla de blanco de plomo, cinabrio y quizás un poco de ocre, como lo demuestran picos altos de Hg y bajos de Fe. Las sombras fueron realizadas con un pigmento de tierra, probablemente un ocre tostado. El análisis de las manos reveló un repinte en la mano derecha de María y en la izquierda de Santa Isabel (presencia de Zn, elemento característico en pigmento moderno). Para el color rojo se emplearon dos pigmentos diferentes: cinabrio y un rojo orgánico que no se puede detectar con FRX. Este último se ha empleado probable-



Fig. 3. Marcelo Coffermans: *Díptico de la Anunciación y Visitación*, pintura sobre tabla (hacia 1570).

mente para el manto de Santa Isabel en la *Visitación* y para la cama en la *Anunciación*, ya que en los espectros no se observa ningún pico representativo de ningún pigmento rojo inorgánico. Ocre amarillo y rojo se emplearon para el suelo y los edificios, mientras que para los tejados y el fondo oscuro se usó un verde oscuro a base de Cu. El amarillo de la aureola del ángel fue pintado con un amarillo de Pb-Sn, mezclado con un ocre amarillo.

Se ha descubierto en otros cuadros analizados de la colección flamenca un uso similar de pigmentos, sobretudo el azul esmalte revelando así la relación entre las obras de diferentes autores según el empleo de los pigmentos.

Vasco Pereira: *Santa Ana con la Virgen y San Juan Bautista*, pintura en tabla (1598)

Se trata de dos tablas de un pintor perteneciente a la escuela sevillana del siglo XVI, en las que

se representa a *Santa Ana con la Virgen* y a *San Juan Bautista* (Figura 4). Los resultados de ambas tablas son muy parecidos y confirman el empleo de casi los mismos pigmentos (Križnar *et al.* 2008b). Estos son blanco de Pb, ocre, cinabrio, algún colorante rojo orgánico, sombra natural o tostada, azurita, un verde a base de Cu y, probablemente, un negro orgánico. En la tabla de San Juan Bautista se ha encontrado, además, tierra verde. Los colores se aclaraban añadiendo blanco de Pb y se oscurecían con una mezcla de sombra natural o tostada con un verde a base de Cu. A esta mezcla básica se agregaba a veces un ocre

o también un negro orgánico. Las cantidades de cada pigmento variaban dependiendo del tono de oscuridad que se quería conseguir. En la tabla de Santa Ana se observan pequeñas intervenciones en muy pocas zonas (Ba, Ti, Zn, revelan el empleo de materiales modernos). Se han encontrado más intervenciones en la tabla de San Juan Bautista, identificables por los picos bajos de Ti, Ba, Cr y Cd, que revelan la presencia de pigmentos modernos. Para lograr informaciones más concluyentes se ha considerado analizar otras obras de las Escuela Sevillana del mismo período y realizar un estudio comparativo.



Fig. 4. Vasco Pereira: *Santa Ana con la Virgen* y *San Juan Bautista*, pintura en tabla (1598).

El Greco: Retrato de su hijo Jorge Manuel, pintura sobre lienzo (hacia 1600)

Es considerada una de las obras más importantes de la colección del museo (Figura 5). Se han analizado diferentes puntos del fondo oscuro, del traje negro, del cabello, de la encarnadura, de la gola y de los puños. Los elementos más destacados son Pb, Cu y Fe. El fondo oscuro fue pintado con una mezcla de un pigmento a base de tierra (ocre u sombra) y uno verde a base de Cu. Los mismos pigmentos, pero en diferente medida, fueron empleados para el color oscuro del cabello. El color negro del traje es probablemente negro de huesos, identificado por los picos altos de Ca. La carnación esta hecha de blanco de Pb y de un rojo orgánico, probablemente carmín. Más compleja es la paleta de los colores que el retratado sujeta en su mano izquierda. La madera de la misma fue pintada con un ocre amarillo, mientras que los colores en ella son: blanco de Pb, ocre amarillo, un pigmento os-



Fig. 5. El Greco: *Retrato de su hijo Jorge Manuel*, pintura sobre lienzo (hacia 1600).

curo a base de Cu (verde o marrón), tierra roja y una mezcla de tierra roja con un rojo orgánico para obtener un color rojo oscuro. En algunos puntos se encuentra una escasa presencia de Zn y Ba, mientras que en algunas áreas rojas se detectan trazas de Cd. Los tres elementos revelan puntuales retoques que son probablemente de la última restauración.

Los resultados obtenidos en este cuadro se compararon con otro que guarda el Museo y que se atribuye a un seguidor anónimo de El Greco (Križnar *et al.* 2008c). Se trata de pintura sobre lienzo que representa a *Fray Hortensio Félix de Paravicino* (2/2 mitad del siglo XVI). Aunque a la vista los dos cuadros son parecidos en color, se han detectado diferencias importantes: la carnación está hecha no sólo con blanco de Pb y cinabrio como en el cuadro de El Greco, sino que contiene también el azul esmalte. Este pigmento se encontró así mismo en el cabello y la barba del retratado. Sus labios fueron pintados con cinabrio y ocre rojo y no con un colorante orgánico. También el fondo oscuro presenta picos más bajos de Cu que la obra de El Greco, por lo tanto se ha empleado otra mezcla de pigmentos.

Otra comparación interesante se pudo hacer durante la exposición temporal *El Greco: Toledo 1900* que tuvo lugar en el Museo de Bellas Artes de Sevilla en el invierno del 2008. En aquella ocasión se analizaron varias obras seleccionadas del artista. Se confirmó la presencia de los mismos pigmentos que en la pintura perteneciente al Museo de Bellas Artes de Sevilla, además de azurita, masicote y minio (en las zonas amarillas y rojas de color muy vivo se han identificado picos altos de Pb).

Pedro Millán: *Cristo Varón de Dolores*, escultura en barro policromada (1485-1503)

El Museo guarda varias esculturas del sevillano Pedro Millán y de su maestro Lorenzo Mercadante, escultor medieval procedente de centro Europa, quienes trabajaron en algunas de las portadas de la catedral hispalense. Se analizaron todas las esculturas de la colección y los resultados sobre los pigmentos empleados eran bastante parecidos

(Križnar *et al.* 2008d, Križnar *et al.* 2008e). Sin embargo, la obra de *Cristo Varón de Dolores* (Figura 6) es la más compleja de todas y todavía quedan cuestiones por resolver. Se trata de un grupo escultórico que presenta varias capas de policromía en algunas zonas. Presenta a Cristo con sus cinco llagas, rodeado de dos ángeles y con el donante arrodillado a sus pies. La complejidad de su modelado dificulta el acceso a muchos puntos de interés. Los resultados obtenidos confirmaron que el material base es arcilla cocida. Los picos altos de Pb en todos los puntos analizados muestran una presencia de una imprimación a base de blanco de Pb o minio por toda la escultura. El color blanco es blanco de plomo. Las carnaciones fueron hechas de blanco de Pb y cinabrio. Para el color del cuerpo de Cristo se añadió también un verde o azul a base de Cu. El color rojo es en la mayoría de los casos cinabrio, al que en ocasiones añadieron algo de ocre rojo. En algunas zonas de rojo oscuro como las llagas de Cristo y las partes interiores del manto se

observa, a simple vista, la presencia de un rojo orgánico, que podría ser carmín. El color azul es azurita, además, la alta proporción de Fe detectada en los espectros sugiere la presencia de livianita o, quizás, un repinte posterior con azul de Prusia, concretamente en los mantos de ambos ángeles. El pigmento verde analizado es identificado como de cobre, pudiendo tratarse de malaquita, verdigris o un resinato básico de cobre. El color del cabello fue pintado con sombra natural o tostada. Se ha confirmado la presencia de oro en los bordes y broches de los mantos, en las cintas del cabello y atributos de los ángeles, así como en las llagas de Cristo. También se han detectado picos de plata, que pueden pertenecer a una lámina de plata, ya no visible, pero que sigue dando señales con FRX (Seccaroni *et al.* 2004: 56-57). Toda la escultura está cubierta con una capa gruesa de cera-resina añadida en una intervención posterior y confirmada en un análisis independiente por FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier).



Fig. 6. Pedro Millán: *Cristo Varón de Dolores*, escultura en barro policromada (1485-1503).

Pietro Torrigiano: *San Jerónimo Penitente*, escultura en barro policromada (hacia 1525)

La escultura fue hecha por un famoso escultor italiano, contemporáneo de Miguel Ángel, que se estableció en Sevilla desde 1522. El Museo de Bellas Artes, además de *San Jerónimo Penitente* (Figura 7), expone otra de sus obras de tamaño natural, la *Virgen de Belén*, que también fue analizada en el transcurso del Proyecto (Figura 1) (Križnar *et al.* 2009). Los resultados de los análisis de los pigmentos revelaron que San Jerónimo ha sufrido varias intervenciones. En la mayoría de los puntos analizados se observan picos más o menos altos de Ba, Ti, y Zn, que revelan una intervención general. Se observa además la presencia de otra actuación importante a base de blanco de Pb sobre la anterior. La base de la escultura, que simula un suelo rocoso, y la cruz, salvo la zona que sujeta la mano, son creaciones posteriores. Entre los pigmentos empleados se encontraron, además de blanco de Pb, un ocre (amarillo o rojo) y cinabrio, todos usados para el color de la encarnadura. Los labios fueron pintados, sin embargo, con ocre rojo. El pigmento marrón es sombra natural o tostada. En varias zonas de la encarnadura se observan picos



Fig. 7. Pietro Torrigiano: *San Jerónimo Penitente*, escultura en barro policromado (hacia 1525).

de Cu, que revelan el empleo de una pequeña cantidad de un verde o azul a base de Cu para obtener la tonalidad deseada de la piel. Los mismos pigmentos se encontraron también en la escultura de la *Virgen de Belén*, donde la paleta de colores es más amplia e incluye además azurita, amarillo de Pb-Sn y un negro orgánico, así como numerosos elementos ornamentales dorados.

Azulejo, cerámica pintada (siglo XVII)

Se seleccionó uno de los azulejos de la colección del museo para ver los materiales y pigmentos empleados. El azulejo está en un marco de cerámica marrón (Figura 8) donde predomina sobre todo el Pb, cuyos números de cuenta son diez veces más altos que los de Pb en el azulejo central. También contiene bastante Fe, mientras que hay menos Si, Ca, Cu y Zn en comparación con



Fig. 8. Azulejo, cerámica pintada (siglo XVII).

el motivo central. La composición es claramente diferente a la del azulejo, por lo tanto el marco no es original. También en el azulejo central predominan picos de Pb, que se deben sobre todo al vidriado, ya que se usaba como fundente en la cerámica vidriada. Ésta solía contener también cristales de caserita para obtener la opacidad blanca, sin embargo, en los espectros obtenidos de éste azulejo no se observan picos de Sn que identificarían la presencia de caserita (dióxido de estaño). En parte, Pb probablemente pertenezca también al pigmento blanco de plomo, empleado en la mayor parte de la superficie. El color amarillo es amarillo de antimonio, llamado también de Nápoles, identificado a base de la presencia de picos de Zn, Mn y Sb. El marrón es sombra natural o tostada, ya que se observan picos de Mn y Fe juntos. El pigmento verde es uno basado en cobre. El color azul es el más común empleado para azulejos, esmalte, como lo ponen de manifiesto los picos bien definidos de Fe, Ni, Co, As.

Pedro Navía Campo: *San Felipe Neri*, dibujo sobre papel (1924-60)

El boceto es una de las pocas obras que se han analizado en soporte de papel (Figura 9). La mayoría de los elementos químicos que se observan en los espectros, pertenecen al papel, ya que la



Fig. 9. Pedro Navía Campo: *San Felipe Neri*, dibujo sobre papel (1924-60).

capa de color es muy fina y los rayos X la traspasan fácilmente. Los picos más altos son los de Fe y Ca y son, por tanto, los componentes inorgánicos predominantes en el papel, en cuya composición también hay elementos orgánicos que el equipo de XRF no puede detectar. El color rojo debe ser también de origen orgánico, posiblemente laca, pues no aparecen los espectros característicos de un pigmento rojo inorgánico. El color amarillo es difícil

de identificar, pero las cuentas de Pb un poco más elevadas muestran un posible empleo de un amarillo de Pb, quizás mezclado con minio para obtener un tono anaranjado. El color marrón es un ocre tostado, que en las zonas claras muestra presencia de una mezcla de amarillo de Pb y blanco de Ti. El color verde se consiguió con un verde de óxido de cromo. El color azul es de origen orgánico, mezclado con una cantidad alta de blanco de Zn. También el pigmento negro es orgánico, probablemente de huesos o de marfil, ya que las cuentas de Ca suben en los puntos analizados. Se trata de un boceto de fecha bastante moderna, por lo tanto no extraña encontrar pigmentos nuevos como blanco de Zn o verde de cromo.

IV. CONCLUSIONES

La puesta a punto de nuevas técnicas para la caracterización no destructiva de obras de arte es hoy en día un reto científico de gran interés. La realización del Proyecto recién terminado ha permitido cumplir con varios objetivos. (a) Ofrecer apoyo directo en las tareas de estudio, restauración e intervenciones preventivas por los responsables del Museo. Hasta la fecha se han caracterizado una treintena de obras de arte, sobre todo pintura en tabla de las escuelas flamenca y sevillana. (b) Creación de una base de datos sobre la paleta y técnicas de ejecución de los distintos autores que conforman parte significativa de una de las pinacotecas más importantes de nuestro país. (c) Formación de un equipo interdisciplinar estable que permita un aprovechamiento óptimo de los recursos técnicos disponibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDROVANDI, A. y PICOLLO, M. 2003: *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Il Prato editrice. Padova.
- DOERNER, M. 1984: *The Materials of the artist and their use in painting with notes on the techniques of the old masters*. Harvest, Harcourt. San Diego, New York, London.
- EASTAUGH, N., WALSH, V., CHAPLIN, T. Y SIDDALL, R. 2008: *Pigment Compendium. A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*. Elsevier y Butterworth-Heinemann. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- GETTENS, J. y STOUT, G. L. 1966: *Painting materials*. A short encyclopedia. Dover Publications. New York.
- GÓMEZ, M. L. 2000: *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Cátedra, Instituto del Patrimonio histórico español. Madrid.
- KNOEPFLI, A.; EMMENEGGER, O.; KOLLER, M. y MEYER, A. (eds.). 1990: *Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken*. Vol 1-3. Philipp Reclam jun. Stuttgart.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008a: "Non-destructive FRX analysis of pigments in a 15th century panel painting", *Actas del 9th International congress on NDT of Art ART2008 (Jerusalem 2008)*. Publicación en Internet: <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/177Kriznar.pdf>:1-10.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008b: "Dos tablas de Vasco Pereira del Museo de Bellas Artes de Sevilla analizadas por FRX portátil". *Actas de la 9ª Reunión Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural (Sevilla 2008)*, CSIC. Sevilla: 83-84.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008c: "A comparison of pigments applied in an original painting by El Greco and in a copy by an anonymous follower". *Libro de resúmenes del Cultural Heritage Research Meets Practice CHRESP 2008 (Ljubljana 2008)*. NUK. Ljubljana: 245-246.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008d: "Pigment identification using x-ray fluorescence in a polychromated sculpture by Pedro Millán". *X-Ray Spectrometry XXXVII/ 4*. John Wiley & Sons, Ltd.: 355-359.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2008e: "Polychromated sculptures of Mercadante and Millán analysed by the FRX non-destructive technique." *Lasers in the conservation of Artworks Lacona VII (September 2007)*. En M. Castillejo; P. Moreno; M. Oujja; R. Radvan y J. Ruiz (eds.): *Lasers in the Conservation of Artwork*. Taylor & Francis Group. London, New York, Leiden: 79-88.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2009: "FRX analysis of two terracotta polychromated sculptures by Pietro Torrigiano". *X-Ray Spectrometry, XXXVIII*, John Wiley & Sons, Ltd.:169-174.
- KRIŽNAR, A.; MUÑOZ, M. V.; DE LA PAZ, F.; RESPALDIZA, M. A. y VEGA, M. 2009: "A Diptych by Marcellus Coffermans analysed by portable FRX", *Actas del 37th International Symposium on Archeometry (Siena 2008)*. MONTAGNA, G. 1993: *I pigmenti. Prontuario per l'arte e il restauro*. Nardini editore. Firenze.
- MORENO MENDOZA, A.; PAREJA LÓPEZ, E.; SANZ SERRANO, M. y VALDIVIESO GONZÁLES, E. 1991: *Museo de Bellas Artes de Sevilla*. Ediciones Gever, S.L. Sevilla.
- PACHECO, F. 1990: *El Arte de la Pintura*. 1649. edición crítica Bonaventura Bassegoda y Hugas. Editorial Cátedra. Madrid.
- SECCARONI, C. y MOIOLI, P. 2004: *Fluorescenza X. Prontuario per l'analisi FRX portatile applicata a superfici policrome*. Nardini editore. Firenze.
- SERCHI, M. (ed.) 1999: *Cennino Cennini: Il Libro dell'Arte*. Felice Le Monnier. Firenze.
- SCHRAM, H. P. y HERLING, B. 1995: *Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung*. Ravensburg Buchverlag. Stuttgart.
- VOLPIN, S. y APPOLONIA, L. 2002: *Le analisi di laboratorio applicate ai beni artistici policromi*. Il Prato editrice. Padova.
- WEHLTE, K. 2005: *Werkstoffe und Techniken der malerei*. Urania. Stuttgart.
- WEST FITZHUGH, E.; FELLER, R.; ROY A. y BERRIE, B. (eds.) 1987-1997: *Artists' pigments. A Handbook of their history and characterization*. Vol 1-4. National Gallery of Art. New York; Washington. Oxford University Press. Oxford.

ANÁLISIS POR EDXRF DE CINCO PANELES DEL PINTOR MANIERISTA PORTUENSE FRANCISCO CORREIA

EDXRF ANALYSIS OF FIVE PANELS OF FRANCISCO CORREIA, A PORTUGUESE MANNERIST PAINTER

Jorgelina Carballo Martínez

Universidade Católica Portuguesa – Escola das Artes

Centro de Investigação em Ciências e Tecnologias das Artes - CITAR

RESUMEN: *Cinco paneles del siglo XVI, del pintor manierista portugués Francisco Correia se encuentran situados en el interior del ábside de la Iglesia de Santo Estêvão de Valença, en Valença do Minho. Su deteriorado estado de conservación y las alteraciones del color encontradas en algunas zonas de la superficie pictórica, proporcionaron una base de estudio que permitió fundamentar la metodología de intervención en el proceso de restauración de estas pinturas. Mediante el análisis multielemental por EDXRF, fue posible caracterizar los pigmentos constitutivos de las zonas originales, alteradas y retocadas, discriminando las heterogeneidades existentes entre los dos momentos coexistentes en las obras.*

SUMMARY: *In the internal part of the abside of Santo Estêvão Church of Valença do Minho, there are five panels from the 16th century made by Francisco Correia, a Portuguese mannerist painter. Poor conservation and color changes were founded in some zones of the pictorial surface, which offered practical guidelines for the paints' restoration. Through EDXRF multi-elemental analysis, pigments constituent from original zones were characterized. Additionally, the discrimination of alterations and retouching in two different moments of intervention was performed.*

PALABRAS CLAVE: *EDXRF, pintura manierista, Francisco Correia, degradación de pigmentos.*

KEY WORDS: *EDXRF, mannerist painting, Francisco Correia, pigments' degradation.*

I. INTRODUCCIÓN

En el interior de la Fortaleza de Valença do Minho, se encuentra la Iglesia de Santo Estêvão de Valença, construida entre 1283 y 1300 (Pereira de Castro 2000). Formando parte integral de los sitiales laterales del ábside, se localiza un políptico del siglo XVI constituido por cinco paneles que representan escenas de la vida de Santo Estêvão. Posiblemente en su época, estas pinturas pertenecían al retablo del altar mayor de la iglesia (Serrão 2002), debido a sus similares dimensiones. Las pinturas sobre madera de castaño de estilo manierista fueron ejecutadas por Francisco Correia, pintor portugués que ejerció su actividad entre 1568-1616 y del cual existen pocas referencias en cuanto a la catalogación de sus obras y su desarrollo artístico –técnico. Sin embargo, este autor está comprendido entre uno de los artistas más

significativos de su época, que junto a otros pintores como Diogo Teixeira difundieron en el Norte del país los valores estéticos de una nueva tendencia artística –El Manierismo– alcanzando un mayor auge en el ámbito de la pintura en Portugal (Serrão 1992).

La forma de abordar la investigación analítica de obras patrimoniales en Portugal representa un desafío actual, en el empleo de nuevas técnicas de análisis no invasivas por parte de los profesionales que realizan la caracterización de materiales pictóricos. Si bien existen códigos de ética establecidos internacionalmente para la toma de muestras, los analistas se enfrentan, cada vez más, a distintas tendencias que limitan el muestreo en los bienes culturales. Esta visión restringe el conocimiento y la profundidad de la historia material de obras de artistas emblemáticos, en todo lo referido

a procesos y procedimientos de elaboración artísticos, factor importante que distingue de forma singular las trayectorias artísticas y técnicas de pintores, escuelas, gustos y tendencias.

Uno de los métodos innovadores en su época y que actualmente juega un papel importante en la identificación rápida de los materiales inorgánicos es la Fluorescencia de rayos-X por Dispersión de Energía. Esta técnica ofrece innegables ventajas, pero también algunos inconvenientes, como la no detección de elementos de bajo número atómico y la adquisición de elementos que solo están en superficie o a pocas micras de espesor. En este sentido, en función de las características propias de los objetos, del tipo de equipamiento empleado, de las condiciones de adquisición y de los elementos detectados, podemos obtener resultados no conclusivos. Es entonces que, para corroborar las hipótesis y dudas levantadas, nos debemos apoyar en técnicas analíticas que requieren la toma de micromuestras.

El objetivo inicial del presente trabajo, consistió en identificar las posibles causas de alteración del color en algunas zonas de la superficie pictórica, siendo recurrente en los tonos verdes y azules de los cinco paneles. Dada la importancia de estos ejemplares, la primicia de la investigación

se extendió a la caracterización de los pigmentos que constituyen la obra, y el estudio técnico de su forma y aplicación apoyándonos en otras técnicas de examen, debido a que la EDXRF no nos permite obtener información sobre el modo en que el artista sucedía las capas de pintura, si llegaba a efectos pictóricos superficiales a través de una superficie elaborada, o si la obtenía por superposición de estratos.

Los pigmentos constitutivos de las pinturas se determinaron mediante Fluorescencia de rayos-X por Dispersión de Energía (EDXRF), se analizaron las áreas originales, las zonas con alteración aparente del color y con decoloración de una laca roja. En una primera fase esta técnica de análisis nos permitió una aproximación a las diferencias químicas en los componentes de las áreas en estudio, posibilitando la elección de muestras representativas que ofrecieron una información estructural y morfológica más completa. La superposición de estratos pictóricos se estudio a través del examen estratigráfico por microscopia óptica por reflexión, transmisión, y polarización.

II. MÉTODOS DE EXÁMEN Y ANÁLISIS

Todos los paneles presentan la misma cromaticidad y problemáticas de degradación. Para



Fig.1. Fotografía¹ de los paneles de Francisco Correia. (a) S. Estêvão pregando a adoração do Evangelho; (b) Apedrejamento de S. Estêvão; (c) Deposição no Túmulo; (d) Sonho de Luciano; (e) Encontro das Relíquias.

¹ Las fotografías de las obras fueron realizadas por el docente Luís Bravo Pereira de la Escola das Artes de la UCP.

determinar cuáles pigmentos ocasionaron una alteración óptica en la superficie pictórica y relacionar su presencia con posibles procesos inadecuados de intervención posterior a su ejecución, se analizaron un total de veinticinco áreas, que abarcan zonas de color estable y zonas de color alterado.

El análisis elemental fue realizado mediante un espectrómetro portátil de Fluorescencia de Rayos-X por Dispersión de Energía (EDXRF), técnica físico-química no destructiva que posibilita la detección de los elementos con $Z > 16$, presentes en la superficie hasta una profundidad de varias micras de espesor (aproximadamente $30 \mu\text{m}$). Los espectros de fluorescencia adquiridos fueron normalizados al número total de cuentas del espectro para comparar y relacionar los elementos detectados en las diversas áreas analizadas. Los pigmentos empleados por el artista se caracterizaron partiendo de la identificación de los elementos detectados por medio de los espectros de EDXRF, obtenidos bajo una tensión de 25 kV y un tiempo de adquisición de 200 segundos.

Las medidas fueron realizadas en el Centro de Conservação e Restauro - Escola das Artes, de la Universidad Católica Portuguesa, utilizando un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos-X, integrado por:

- un tubo de rayos X con ánodo de plata;
- colimador de aluminio, donde los rayos-X son colimados en un haz de 5 mm de diámetro, delimitando el área analizada sobre la obra;
- detector Si-PIN de AMPTEK termoeléctricamente refrigerado, con 7 mm^2 de área efectiva, $7 \mu\text{m}$ de ventana de Be, de 180 eV de resolución energética de (FWHM);
- sistema de adquisición multicanal MCA Pocket 8000A de AMPTEK.

Previamente al estudio de las secciones transversales por microscopía óptica se realizó un examen global de la superficie pictórica con iluminación UV, para distinguir las áreas originales de las de retoque. Se tomaron un total de cuatro micromuestras representativas por panel, con el objetivo de determinar la secuencia, número de estratos, color, textura de las capas que constituyen la obra, así como observar la morfología y distribución por partículas de los pigmentos y las cargas integrantes. Las micromuestras fueron preparadas en secciones transversales y láminas delgadas usando una resina acrílica TECNOVIT 4004. Fueron observadas por reflexión y transmisión a través de un microscopio binocular OLYMPUS, modelo BX41, con óptica corregida al infinito. Las secciones transversales fueron registradas fotográficamente mediante cámara OLYMPUS Digital, C-4040 Zoom y Cámara ProgRes® CapturePro 2.7.

El aglutinante y la carga que conforman la preparación de las obras fueron determinados por ensayos histoquímicos (Masschelein-Kleiner 1986) y microquímicos preliminares (Odegard *et al.* 2000). Las micromuestras se tomaron de zonas de faltante no comprometidas con la iconografía de la obra. Bajo la lupa binocular se separaron los estratos pictóricos de la preparación, para de esta forma eliminar las posibles interferencias o “falsos positivos” provenientes de otros compuestos (aniones) presentes en la policromía, tales como el blanco de plomo, la azurita entre otros pigmentos con iones carbonatos. Los ensayos histoquímicos permitieron determinar en las muestras heterogéneas el tipo de material filmógeno empleado (proteico o graso).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capa de preparación

Los cinco paneles estudiados presentan una preparación espesa que varía en cuanto a grosor, consistencia y granulometría de las cargas pre-

² Esta hipótesis no ha sido corroborada, siendo objetivo de una fase más avanzada de investigación.

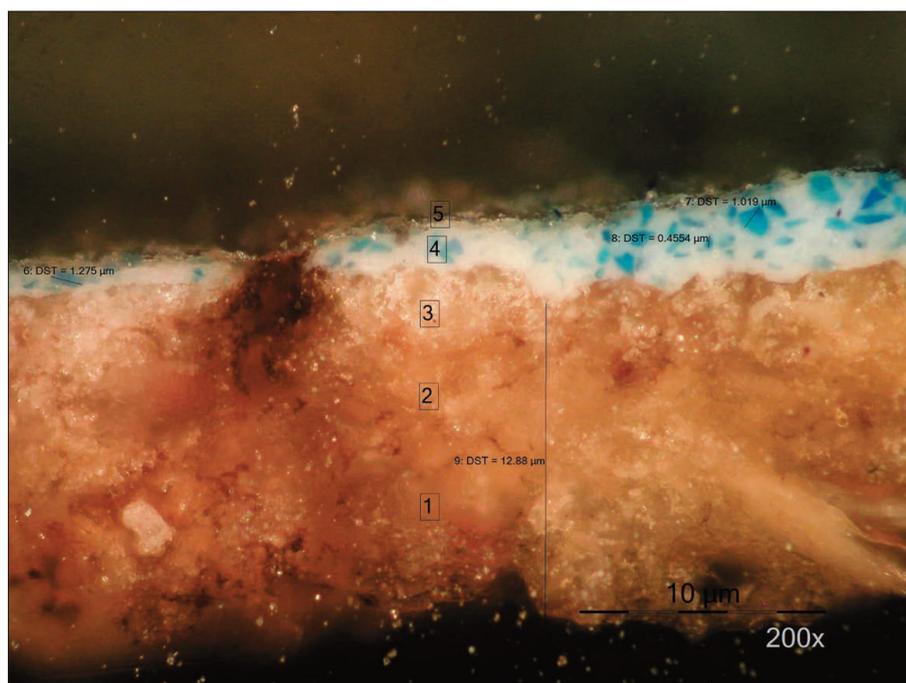


Fig. 2. Sección transversal por OM, de una muestra de color azul claro (original) del panel Apedreamiento de Santo Estêvão.

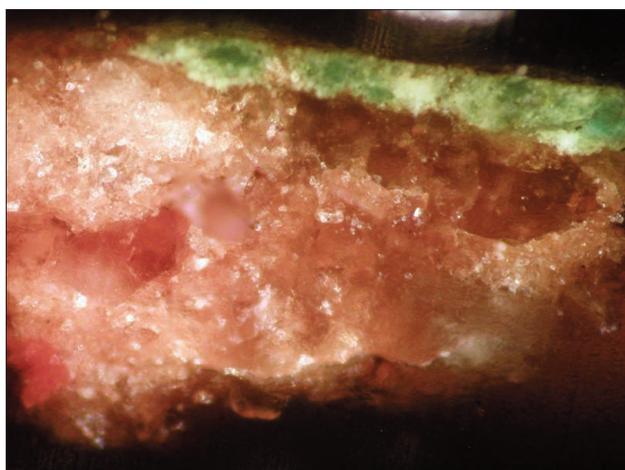


Fig. 3. Sección transversal por OM, de una muestra de color verde (original) del panel Santo Estêvão pregando a adoração do Evangelho.

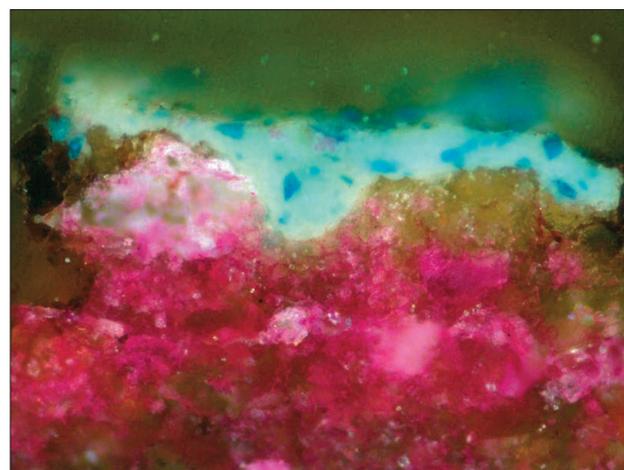


Fig. 4. Sección transversal por OM, de una muestra de color azul claro (original) del panel Apedreamiento de Santo Estêvão. Tinción con Fucshina ácida, color rosado fuerte indicativo de presencia de un material proteico - cola.

sentas (Figuras 2 y 3). Se encuentra formada por dos capas de carbonato de calcio (creta) con impurezas de iones sulfatos, que posiblemente corresponderán al yeso, aglutinados con cola (Figura 4) (Johnson *et al.* 1971), medio proteico usado en la época.

En las estratigrafías se puede apreciar una tercera capa translúcida que posiblemente corresponderá a silicatos, o a una veladura compuesta por un material filmógeno y blanco de plomo, pues

las líneas L de fluorescencia del plomo aparecen de forma continua en todos los espectros adquiridos (Figura 6). Para una mejor interpretación será necesario caracterizar este estrato intermedio que se encuentra en todas las muestras examinadas mediante microscopía electrónica de barrido por dispersión de energía (SEM-EDX). De esta forma se corroborarán las hipótesis infra levantadas, ya que la observación óptica de los materiales sin su consecuente identificación puede dar lugar a falsas interpretaciones (Barata *et al.* 2008).

Es de señalar que en las obras analizadas del norte portugués, las preparaciones se encuentran constituidas por carbonato de calcio con impurezas de silicatos, siendo un aspecto que sitúa la proveniencia o ejecución de las producciones artísticas en pintura y policromías en Portugal.

En los espectros adquiridos la línea $K\alpha_1Ca$ se presenta con diferente intensidad en las zonas originales con respecto a aquellas zonas de repinte y donde existen vestigios de una laca roja, lo cual sugiere el uso, en diferentes proporciones, de una carga de calcio en los diversos estratos. Para su interpretación en los espectros donde fue detectado este elemento, se ha normalizado el área neta del pico asociado a la $K\alpha_1Ca$ (Figura 5).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Figura 5 se observa que existe una mayor proporción de una carga de calcio en las zonas donde fue aplicada la laca roja comparativamente con las zonas originales, al parecer fue utilizado una carga compuesta por este elemento como mordiente del material orgánico. De igual forma en las zonas de repinte aparece en mayor proporción este elemento.

Estratos pictóricos

Los materiales utilizados por el artista para conferir las diferentes tonalidades de colores en

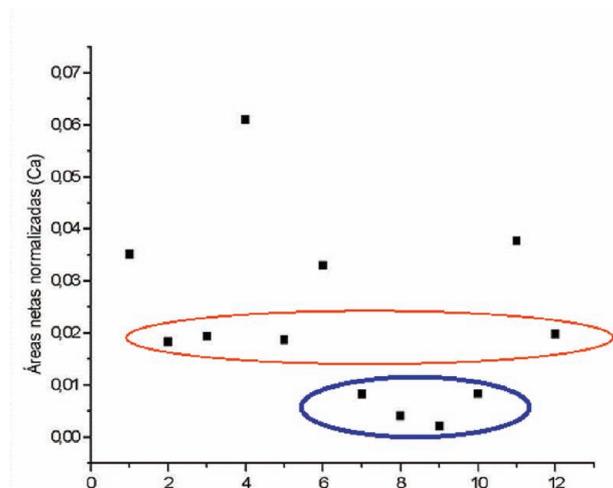


Fig. 5. Áreas netas normalizadas del pico asociado a la línea $K\alpha_1Ca$ adquirida en los espectros de fluorescencia de las diferentes zonas en estudio. Representación de la presencia de una carga de calcio proveniente de la preparación (creta) —círculo azul y de la superficie— círculo rojo, zonas de laca roja. Los restantes puntos corresponden a las áreas de repinte.

todos los paneles corresponden a pigmentos habitualmente encontrados en el siglo XVI. Se detectaron en las áreas originales analizadas los elementos: Ca, Pb, Cu, Fe, Hg, Mn (Figura 6). Para una mejor comprensión de los resultados, se abordaron los mismos por cromaticidades, mostrando al menos un espectro de EDXRF que identifique los pigmentos encontrados.

Tonalidad blanca

El resultado de los análisis de las diferentes áreas blancas presentes en las obras, muestra el empleo de un único pigmento blanco. Aparece las líneas L de fluorescencia de rayos X del plomo en todos los espectros adquiridos de forma constante y presentando picos significativos (Figuras 6 y 7), lo que sugiere el empleo del pigmento blanco de plomo, probablemente Hidrocerusita ($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$) (Palet 2002), aplicado de forma pura en los blancos y mezclado con otros pigmentos para crear matices claros.

Tonalidad amarilla

La naturaleza del pigmento amarillo presente en los cinco paneles no ha podido ser precisada con la técnica analítica empleada, sin embargo, podemos decir que para conferir el tono amarillo del cuidadoso brocado de los mantos y las ropas de las figuras, se empleó un amarillo de plomo (Figura 8). De acuerdo con la época de ejecución de las obras, probablemente este pigmento corresponderá al amarillo de plomo y estaño (Pb_2SnO_4 ó $PbSn_2Si_2O_7$) (Matteini y Moles 2001).

Los relieves trabajados de los mantos se han resaltado con marcas de un objeto puntiagudo, quizás la punta trasera del pincel, sobre la pintura fresca compuesta por pigmentos tierras, una vez que en el espectro adquirido correspondiente a esta zona se ha identificado la línea $K\alpha Fe$ (Figura 6).

Tonalidad roja y marrón

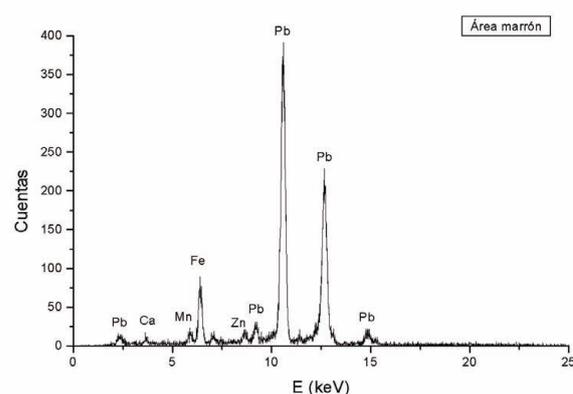
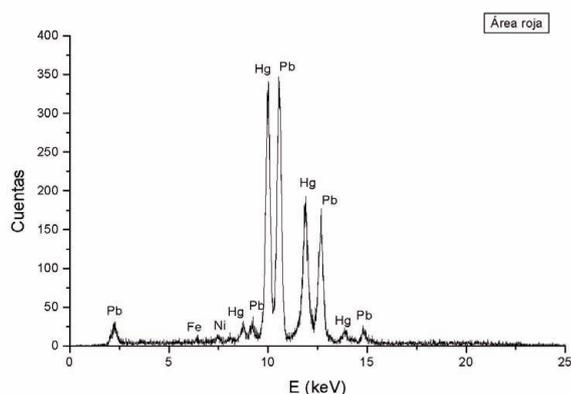
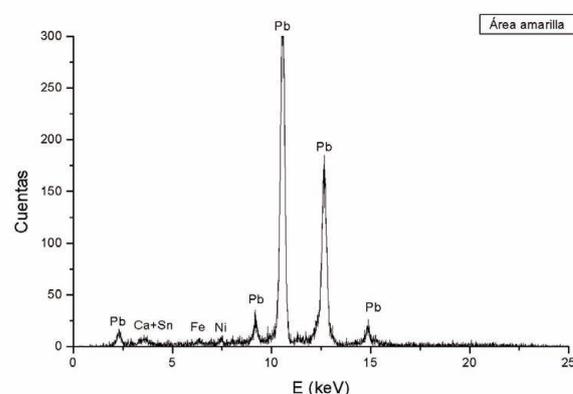
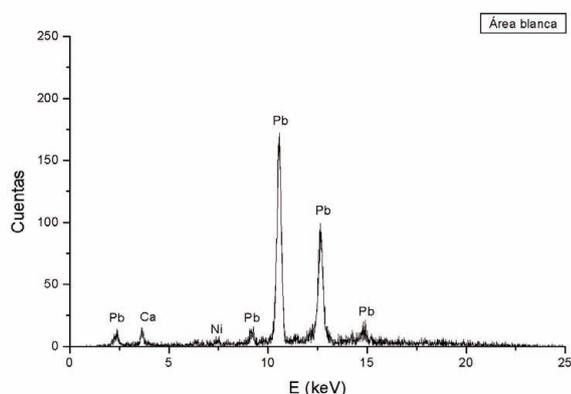
La presencia de mercurio en las tonalidades rojas (Figura 9) de los paneles de *Santo Estêvão*

OBRA	ÁREAS ANALIZADAS	ELEMENTOS DETECTADOS		
		Mayoritarios	Minoritarios	Trazas
<i>São Estêvão pregando a adoração do Evangelho</i>	1- Negro (área degradada)	Cu	Ca, Pb, As	Fe, Co, Sr, Ni1
	2- Verde (original)	Pb	Cu, Ca	Fe, Co, Ni
	3- Verde (repinte)	Cu, Pb	Cu, As	Ca, Fe, Ni
	4- Azul (repinte)	Cu	Pb, As, Co, Fe	Ca
	5- Rojo	Hg, Pb	-	-
<i>Apedrejamento de São Estêvão</i>	6- Verde	Cu	Pb	Ca, Fe, Ni
	7- Marrón	Pb	Fe	Ca, Mn, Ni, Zn
	8- Laca	Pb	Ca	Fe, Ni, Sr
	9- Blanco	Pb	-	-
	10- Amarillo	Pb	-	Ca, Fe, Ni, Sr
<i>Deposição no Túmulo</i>	11- Azul (original)	Cu, Pb	-	Ca, Fe
	12- Azul (repinte)	Cu	Pb	Ca, Fe, Co, As
	13- Rojo	Hg, Pb	-	Fe, Ni
	14- Blanco	Pb	-	Ca
	15- Marrón	Pb	Fe	Ca, Mn, Ni
<i>Sonho de Luciano</i>	16- Amarillo	Pb	-	Ca, Fe, Ni, Sr
	17- Verde	Cu	Pb	Ca, Fe
	18- Marrón	Pb	Fe	Ca, Mn, Ni, Zn
	19- Rojo	Hg	Pb	Ca, Fe, Cu, Ni, Sr
	20- Blanco	Pb	Ca	-
<i>Encontro das Relíquias</i>	21- Rosa - carnación	Pb	Hg	Ca, Fe, Ni, Cu
	22- Amarillo	Pb	-	Ca, Sn, Fe, Ni
	23- Blanco	Pb	-	Zn, Ni
	24- Verde (repinte)	Cu, Pb	Cu, As	Ca, Fe, Ni
	25- Blanco (zona de desgaste o decoloración de la laca roja)	Pb	Ca	Fe, Ni, Sr

Fig. 6. Elementos detectados por EDXRF en las obras estudiadas.

pregando a adoração do Evangelho, *Deposição no Túmulo* y *Sonho de Luciano* nos indica el uso de bermellón (HgS) (Gettens *et al.* 1993). En las zonas de sombras fueron detectadas las líneas K de fluorescencia del Fe, al parecer el artista aplica pinceladas a base de pigmentos tierras (FeOOH) (Gettens y Stout 1966) conjuntamente con el bermellón, creando toques de tonos medios y claros, en el diseño de la cortina del panel que representa la escena del Sueño de Luciano.

Para conferir las tonalidades marrones, el artista empleó un pigmento tierra de sombra, ya que en los espectros adquiridos de EDXRF están presentes las líneas de fluorescencia K del Fe y Mn (Figura 10), lo que indica el uso de un pigmento basado en estos elementos (Helwing 2007). Partiendo de los espectros de EDXRF no fue posible distinguir que tipo de pigmento tierra estaba presente en los estratos pictóricos (Glinsman 2005), siendo necesario apoyarnos en otras técnicas de



análisis multielemental, que nos permitan determinar la concentración del óxido de hierro y su relación con el óxido de manganeso, así como detectar elementos ligeros que pueden diferenciar los mismos (Helwing 2007).

Tonalidad rosada - carnaciones

Las carnaciones de las figuras están trabajadas en una sola capa donde se ha mezclado el blanco de plomo con partículas birrefringentes de bermellón (Figuras 11 y 12) dispuestas aisladamente en todo el estrato, no obstante en algunas figuras del panel *Apedrejamento de Santo Estêvão*, el pintor refuerza las carnaciones, para crear zonas de sombra, aplicando una veladura compuesta por una laca roja. El colorante de diferente matiz, no

se encuentra extendido de igual forma en la superficie, por lo que deducimos que ha perdido su intensidad con el transcurso del tiempo, debido al empleo de una laca poco estable o a la aplicación inadecuada de la misma. Dentro de las sustancias orgánicas utilizadas en la época y que lucía de poca notoriedad era el Palo de Brasil, colorante inestable a la luz. Este proceso de decoloración, también tuvo lugar en los mantos de las figuras que actualmente se muestran de color blanco en casi todas las obras.

Tonalidad verde

Los tonos verdes correspondientes a las zonas originales de los paneles, se componen por un pigmento verde a base de cobre (Figura 13). Según el

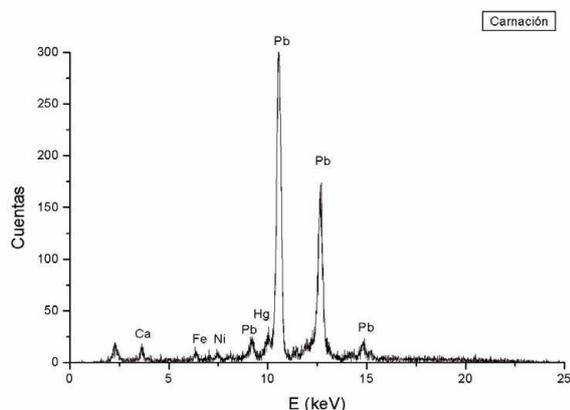


Fig. 11. Espectro EDXRF de la zona correspondiente a la carnación de la obra *Encontro das Relíquias*. Presencia de bermellón con impurezas de pigmentos tierras.

estudio estratigráfico podemos observar la presencia de un estrato pictórico constituido por partículas verde, de granulometría redondeada, en una matriz blanca compuesta por blanco de plomo (Figuras 4, 13). Entre los pigmentos verdes de la época se encuentran, la malaquita ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), el resinato de cobre (compuesto diterpénico - Cu) y el verdigrís ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{-COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$) (Gettens y Fitzhugh 1974; Matteini y Moles 2001; Santos *et al.* 2002). Mediante la EDXRF no es posible determinar que tipo de pigmento de cobre está presente en las obras, por este motivo en una segunda fase de investigación se abordará el análisis de pigmentos y cargas que constituyen las micromuestras tomadas por SEM-EDX.

En las áreas de repinte degradadas se identificó la presencia de las líneas K de fluorescencia de los elementos As y Cu (Figuras 6, 13). Dentro de los pigmentos verdes compuestos por estos elementos se encuentran el Verde de París ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$) y el Verde de Scheele (CuHAsO_3) (Fiedler y Bayard 1997), al parecer se empleó uno de estos dos pigmentos para conferir el tono verde durante la intervención realizada a los paneles. La presencia de estos materiales en la obra marca una época de intervención entre finales del siglo XVIII y todo el XIX³ (Matteini y Moles 2001).

³ El pigmento Verde de Scheele fue poco usado, empleándose entre finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, mientras que el pigmento Verde Esmeralda tuvo su empleo principalmente durante la centuria del XIX.

⁴ Para corroborar la presencia de azurita, se realizarán técnicas de análisis sobre la muestra que permitan determinar la composición del pigmento.

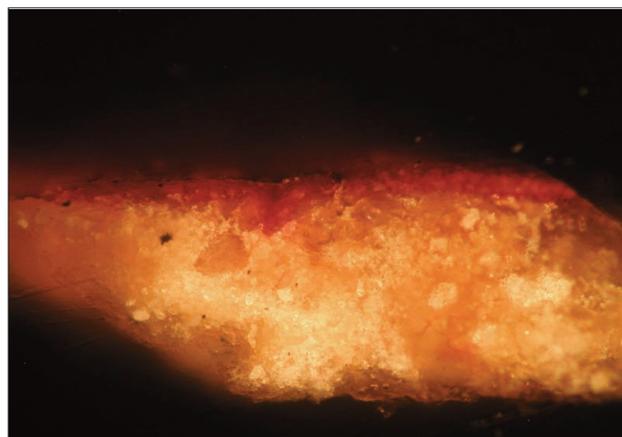


Fig. 12. Sección transversal por OM, de una muestra de color roja (original), de refuerzo de la carnación del panel *Apedrejamento de S. Estêvão*. Se observa que la laca ha penetrado en los estratos inferiores.

Tonalidad azul

En los tonos azules se puede apreciar el dominio por parte del artista de la aplicación de pigmentos de cobre en medio oleoso y el conocimiento de las posibles alteraciones producidas por los ácidos grasos y este elemento (Gunn Michèle *et al.* 2002). Para conferir los tonos azules se utilizó un pigmento azul de cobre (Figura 14). Entre los pigmentos constituidos por este elemento metálico podemos encontrar la azurita que es un carbonato básico de cobre ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) (Van Asperen de Boer 1974), el hidróxido de cobre y calcio hidratado $\text{CaCu}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Gayo 2005), y los silicatos como el azul egipcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) (Riederer 1997).

La sección transversal por microscopía óptica con luz incidente permite comprobar la presencia, en los estratos de este color, de partículas de pigmento de tamaños irregulares comprendidos entre los 8-26 μm . La morfología angular y fracturada de los granos debido a la rotura que se produce durante la molienda de los mismos, influye en las irregularidades de tamaño y de color que presentan (Figura 2), este tipo de granulometría es semejante a la azurita⁴ (Eastaugh *et al.* 2004; Gettens y Fitzhugh 1966).

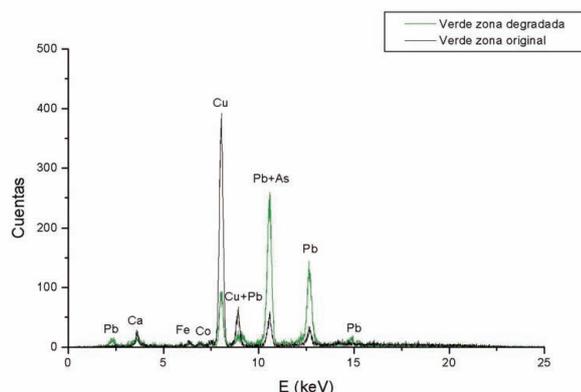


Fig. 13. Espectro EDXRF correspondiente a las áreas de color verde del panel *Santo Estêvão pregando a adoração do Evangelho*. Presencia de pigmentos verdes de cobre.

En las áreas degradadas correspondientes a las tonalidades azules se puede apreciar en el espectro de EDXRF las líneas K de fluorescencia que corresponden a los elementos Co y As. La presencia de estos elementos sugiere el empleo del azul esmalte (silicato potásico coloreado con óxido de cobalto) (Figura 14). La degradación encontrada en cada una de las zonas se debe a la utilización de este pigmento en medios oleosos u óleo-resinoso (Spring *et al.* 2005; Santopadre y Verità 2006).

IV. CONCLUSIONES

La total inexistencia de estudios técnicos publicados sobre las obras de este significativo pintor portuense, destacan la pertinencia y relevancia de la presente investigación. La ampliación y profundización de los estudios realizados en el campo de la Historia del Arte sobre la época del Manierismo en Portugal, representa un desafío actual del Patrimonio Portugués. Esta fue sin dudas, una etapa que marcó diferencia en el campo de la pintura comparativamente con la influencia renacentista de los restantes países europeos.

Los materiales empleados por el artista corresponden a los convencionales utilizados en su época. La preparación de los paneles está constituida por carbonato de calcio y Blanco de plomo

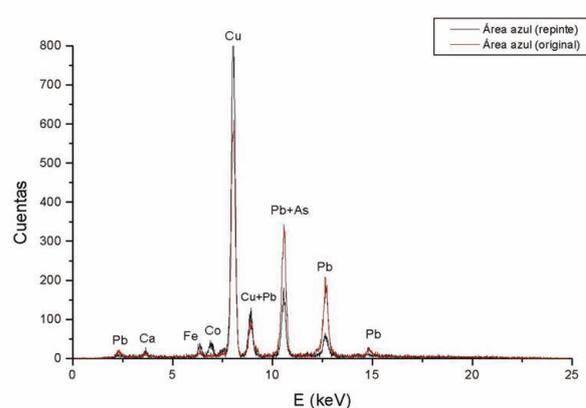


Fig. 14. Espectro EDXRF correspondiente a las áreas de color azul del panel *Deposição no Túmulo*. Presencia de un pigmento azul de cobre y azul esmalte.

aglutinados con cola. Con un rango de pigmentos limitados para conferir cromaticidad a los paneles resaltan el Amarillo de plomo y estaño, el Blanco de plomo presente en los tonos puros o mezclado con otros pigmentos para conferir matices claros, el Bermellón para las zonas rojas y carnaciones, un pigmento azul de cobre, posiblemente Azurita para los tonos azules de las ropas de las figuras y los fondos, un pigmento verde de cobre en las diferentes tonalidades verdes y Tierra de sombra en los tonos marrones.

Otros pigmentos aquí estudiados se encuadrarán en las prácticas habituales de la pintura del siglo XVIII y XIX, siendo estos el azul de Esmalte y el verde Esmeralda o Scheele, pigmentos que se encuentran degradados por el medio en que están aglutinados.

AGRADECIMIENTOS

A la Iglesia de Santo Estêvão de Valença do Minho.

Esta investigación ha sido cofinanciada por el *Quadro de Referência Estratégico Nacional* (QREN) y el Programa ON. 2 – *O Novo Norte* - Eje Prioritario III – Valorización y Cualificación Ambiental y Territorial, Dominio Patrimonio Cultural.

BIBLIOGRAFÍA

- BARATA, C.; CRUZ, A. J. y FERRO, M. 2008: "The Visible Image Is Not Always Correct. The differentiation of layers by optical microscopy in samples cross sections". *e-conservation magazine* 7: 21-25.
- FIEDLER, I. y BAYARD, M.A. 1997: "Emerald Green and Scheele's Green". En E. W. Fitzhugh: *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, vol. 3. New York: 219-271.
- EASTAUGH, N.; WALSH, V.; CHAPLIN, T. y SIDDALL, R. 2004: *Pigment compendium, optical microscopy of historical pigments*. London: 50-51.
- GETTENS, R.J. y FITZHUGH, E.W. 1966: "Identification of materials of paintings: I. Azurite and blue verditer". *Studies in Conservation* 11: 54-61
- GETTENS, R. J. y STOUT G. L. 1966: *Painting Materials: A Short Encyclopedia*. 2nd ed. New York.
- GETTENS, R. J. y FITZHUGH, E. W. 1974: "Malachite and green verditer". *Studies in Conservation* 19: 2-23.
- GETTENS, R. J.; FELLER R. L. y CHASE W. T. 1993: "Vermillion and Cinnabar". En A. Roy (ed.): *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, vol. 2, Washington: 159-182.
- GAYO GARCIA, M. D. 2005: "La azurita identificada en pinturas murales al fresco de Goya". *Actas del II Congreso del GEIIC: Investigación en Conservación y Restauración (Barcelona 2005)*. Barcelona: 155-159.
- GLINSMAN, D. L. 2005: "The practical application of air-path X-ray fluorescence spectrometry in the analysis of museum objects". *Reviews in Conservation* 6: 3-17.
- GUNN, M.; CHOTTARD, G.; RIVIERE, E.; GIRERD, J. y; CHOTTARD, J. 2002: "Chemical reactions between copper pigments and oleoresinous media". *Studies in Conservation* 47: 12-23.
- HELWING, K. 2007: "Iron Oxide Pigments. Natural and Synthetic". En Barbara H. Berrier (ed.): *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, vol. 4. Washingtng.
- JOHNSON; MERYL; PACKARD y ELISABETH 1971: "Methods used for the identification of binding media in Italian paintings of the 15th and 16th centuries". *Studies in Conservation* 16: 145-164.
- ODEGAARD, N.; CARROLL, S. y ZIMMT, W. S. 2000: *Material characterization tests for objects of art and archaeology*. Archetype Publications. London.
- MASSCHELEIN-KLEINER L. 1986: "Analysis of paint media, varnishes and adhesives", PACT. En R. Van Schoute and H. Verougstraete-Marcq (ed.): *Art History and Laboratory, Scientific Examination of Easel Paintings* 13: 185-207.
- MATTEINI, M. y MOLES, A. 2001: *La química en la restauración*. Editorial Nerea. Sevilla.
- PALET A. 2002: *Tratado de pintura: color, pigmentos y ensayo*. Edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- PEREIRA DE CASTRO, A. 2000: *A Igreja de Santo Estêvão de Valença do Minho e a formação da Colegiada*. Comissão da Fábrica da Igreja Paroquial de Santa Maria dos Anjos de Valença, Gráfica Casa dos Rapazes. Viana do Castelo.
- RIEDERER, J. 1997: "Egyptian Blue". En E. W. Fitzhugh: *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, vol. 3. New York:23-45.
- SANTOS, S.; SAN ANDRÉS, M; BALDONEDO, J.L.; RODRIGUEZ, A.; DE LA ROJA, J.L. y GARCÍA, V. 2002: "Proceso de obtención del Verdigrís. Revisión y reproducción de antiguas recetas. Primeros resultados". *Actas del I Congreso del GEIIC. Conservación del Patrimonio: evolución y nuevas perspectivas*. Valencia.
- SANTOPADRE, P. y VERITÀ M. 2006: "A Study of Smalt and its Conservation Problems in Two Sixteenth-Century Wall Paintings in Rome". *Studies in Conservation* 51: 29-40.
- SERRÃO, V. 1992: *A pintura maneirista em Portugal*. Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, Ministério da Educação e das Universidades. Maia.
- SERRÃO, V. 2002: *História da Arte em Portugal – O Renascimento e o Maneirismo*. Editorial Presença. Lisboa.
- SPRING, M.; HIGGITT, C. y SAUNDERS, D. 2005: "Investigation of pigment-medium interaction processes in oil paint containing degraded smalt", National Gallery. *Technical Bulletin* 26: 56-70
- VAN ASPEREN DE BOER, J. R. J. 1974: "An examination of particle size distributions of azurite and natural ultramarine in some early Netherlandish paintings". *Studies in Conservation* 19: 233-243.

PÓSTERS ANÁLISIS DE MATERIALES

LÍTICO, VÍDRIO Y HUESO

GEOLOGÍA, MATERIAS PRIMAS, ÁREAS DE CAPTACIÓN Y TECNOLOGÍA DE LOS SITIOS DE FINALES DEL ACHELENSE EN EL CAMPO DE GIBRALTAR

GEOLOGY, RAW MATERIALS, AREAS OF CAPTATION AND TECHNOLOGY OF THE SITES OF FINALS OF THE ACHELENSE IN THE CAMPO DE GIBRALTAR

Vicente Castañeda Fernández (1) / Francisco Torres Abril (2) / Luis Pérez Ramos (2) / Yolanda Costela Muñoz (2)

(1) Área de Prehistoria, Departamento de Historia, Geografía y Filosofía, Universidad de Cádiz

(2) Miembro del Grupo de Investigación Primeras ocupaciones humanas y sus inferencias socioeconómicas en el extremo Sur de la Península Ibérica (HUM-831)

RESUMEN: Este trabajo presenta como objetivo central el estudio geológico y geomorfológico de la terraza marina donde se localizan los yacimientos, el análisis de las materias primas seleccionadas para la fabricación de las herramientas de trabajo por las sociedades del paleolítico (modo 2) y un análisis tecnológico de las industrias localizadas con el objeto de comprender las características propias relacionadas con los procesos técnicos de fabricación de las herramientas de trabajo.

SUMMARY: The aim of this article is the geological and geomorphological study of the marine terrace where the sites are located, the mineral raw material selected for tool manufacturing by the societies of the Paleolithic periods (modo 2) and a technological analysis of the industries located there in order to understand the characteristics related to the technical processes of tool manufacturing.

PALABRAS CLAVE: Paleolítico, Estrecho de Gibraltar, achelense, modo 2, Campo de Gibraltar.

KEY WORDS: Palaeolithic, Estrecho de Gibraltar, Achelense, modo 2, Campo de Gibraltar.

I. ANTECEDENTES

La comarca del Campo de Gibraltar se localiza en el extremo Sur de la Península Ibérica, un territorio interesante y particular desde un punto de vista geológico, medioambiental e histórico. Más aún cuando estamos tratando de comprender el primer poblamiento humano de esta comarca, donde la cercanía al continente Africano, lo convierte en un lugar privilegiado para explicar esta cuestión.

Este trabajo se inscribe en un proyecto de investigación denominado *Las bandas de cazadores-recolectores en el Campo de Gibraltar*, autorizado y subvencionado por la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía; el cual a su vez forma parte de las actividades desarrolladas dentro del Grupo de Investigación denominado *Primeras ocupaciones humanas y sus inferencias socioeconómicas en el extremo Sur de la Península Ibérica* (PAI-HUM-831), autorizado y subvencionado por la Consejería de Innovación, Ciencia y

Empresa de la Junta de Andalucía. Ambos programas de investigación cuentan con la responsabilidad del Prof. Vicente Castañeda (UCA).

La base de este trabajo se centra en el registro arqueológico localizado en distintos yacimientos identificados en diferentes terrazas marinas en la costa norte del Estrecho de Gibraltar, concretamente entre los ríos Guadiaro y Guadarranque. Este registro asociado a las últimas etapas del Achelense (modo 2), donde tan sólo hemos podido documentar diferentes tipos de rocas, presenta una cronología relativa, gracias al estudio geomorfológico del depósito geológico donde se localizan, asociado a inicios de OIS 5.

Los sitios identificados con las últimas etapas del Achelense en la comarca del Campo de Gibraltar son: Guadalquítón-Borondo (San Roque, Cádiz), Guadalquítón-Borondo-1 (San Roque, Cádiz), Guadalquítón-Borondo-2 (San Roque, Cádiz), Guadalquítón-Borondo-3 (San Roque, Cádiz), Guadalquítón-Borondo-4 (San Roque, Cádiz), La Alcaldesa

(San Roque, Cádiz), Cortijo Carrasco (San Roque-La Línea de la Concepción, Cádiz), Torre Nueva (La Línea de la Concepción, Cádiz), Punta Mala (La Línea de la Concepción, Cádiz), Los Partichuelos (La Línea de la Concepción, Cádiz) (Castañeda *et al.* 2008) y Ringo-Trinchera-1 (Los Barrios, Cádiz)(Castañeda coord. 2008). Todos ellos presentan la característica de estar localizados en depósitos de terrazas marinas, que por su posición cronoestratigráfica se asocian a OIS5, a excepción de Ringo Trinchera-1, situado en una terraza fluvial del río Palmones (Figura 1).

II. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

Los materiales arqueológicos recuperados y presentes en este estudio proceden de prospecciones superficiales, donde se ha intentado obtener una información diacrónica a través del estudio geomorfológico de las distintas unidades morfosedimentarias de la costa mediterránea del Campo de Gibraltar, entre los ríos Guadarranque y Guadiaro. Dicho estudio nos ha permitido datar, aunque de forma relativa, las terrazas marinas localizadas en nuestra zona y que están relacionadas con los yacimientos arqueológicos aquí presentados.

Los estudios geoarqueológicos han estado enfocados a determinar la procedencia de las materias primas seleccionadas en los procesos de transformación y fabricación de las herramientas de trabajo. Estos han consistido en:

- 1) Determinación y recogida de muestras de los principales tipos litológicos que afloran en la zona.
- 2) Elaboración de una base de datos petrológica (litoteca).
- 3) Identificación de las posibles fuentes de materias primas líticas durante la prehistoria.
- 4) Clasificación mineralógica y petrológica *a visu* de todo el material arqueológico recuperado.
- 5) Contrastación entre los materiales geológicos y arqueológicos mediante microscopía óptica.

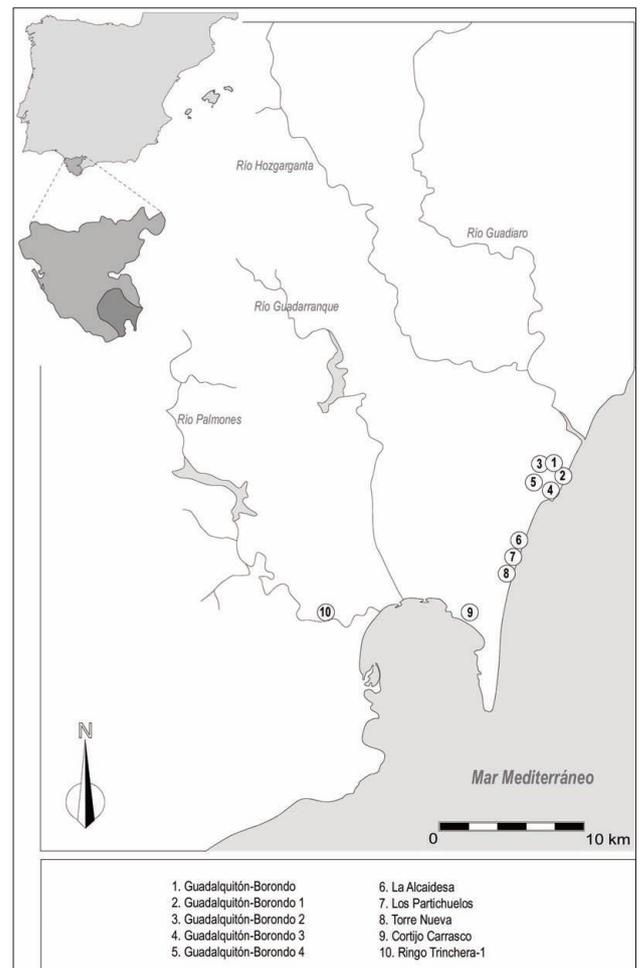


Fig. 1. Localización geográfica de los sitios arqueológicos relacionados con las últimas etapas del Achelense en el Campo de Gibraltar.

III. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

Los yacimientos arqueológicos aquí presentados se localizan en la franja litoral de los términos municipales de San Roque y La Línea de la Concepción (Cádiz), en las primeras estribaciones al E y al S de Sierra Carbonera. Esta alineación montañosa costera está formada por potentes paquetes de Arenisca del Aljibe (Gavala 1924, Pendón 1978) estructurados en un manto de cabalgamiento perteneciente a la Unidad Paleogeográfica denominada Surco Turbidítico del Campo de Gibraltar (Martín-Algarra 1987). Nos encontramos en el extremo W de las Cordilleras Béticas, en la estructura conocida como Arco de Gibraltar (Ruiz-Reig 1994), que une los orógenos alpinos de ambas orillas del Mediterráneo occidental. A la

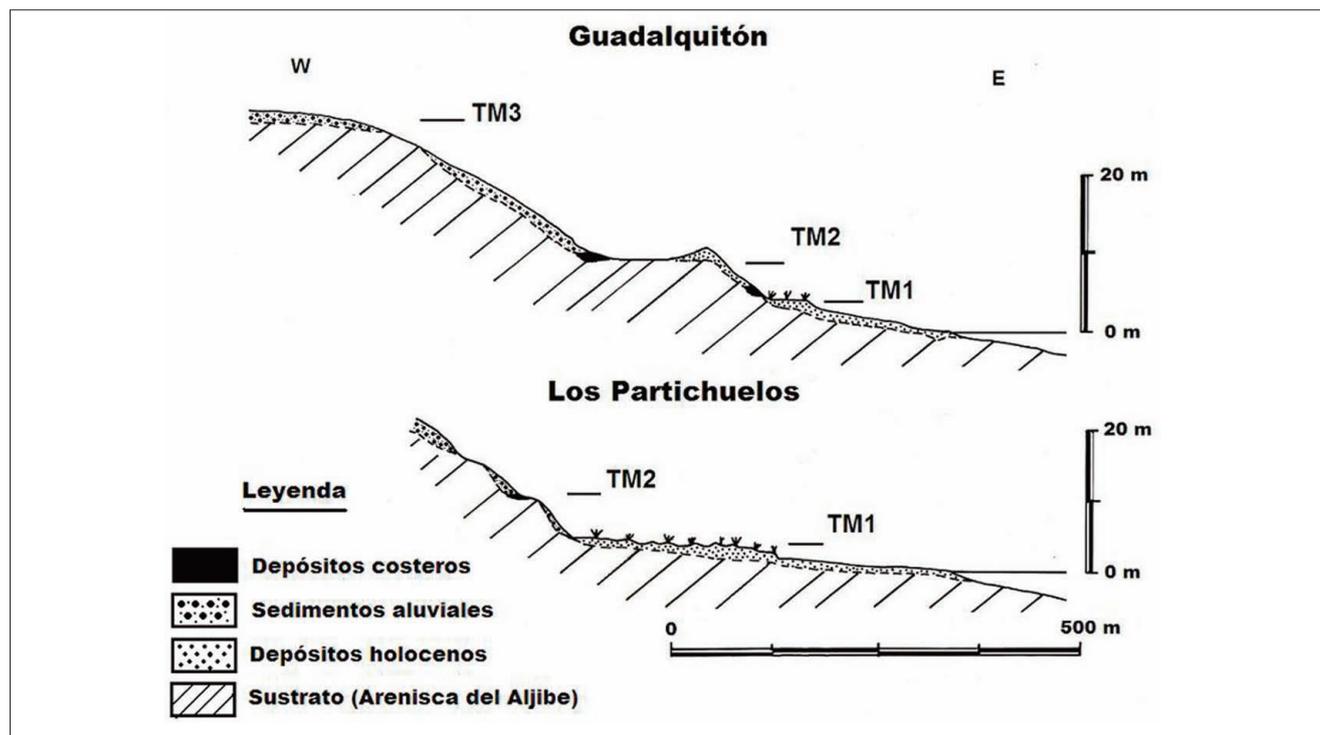


Fig. 2. Cortes geológicos de las terrazas marinas en las zonas de Guadalquítón-Borondo y Partichuelos.

vez, estamos en el contacto entre las placas litosféricas africana y euroasiática, que tienden a converger, lo que ha provocado un levantamiento generalizado de la orilla N del Estrecho (aunque con excepciones locales donde ha habido subsidencia) de 0,15-0,1 mm/año, para los últimos 128 Ka (Zazo *et al.* 1999).

La conjunción de dicha elevación tectónica con las oscilaciones glacioeustáticas del nivel del mar ocurridas durante el Cuaternario, con fuertes descensos durante los periodos glaciales, y excavación de plataformas de abrasión, durante las altas paradas del nivel del mar (highstand) ocurridas en los óptimos interglaciales, sobre las que se depositan sedimentos costeros, ha conformado para nuestra zona una serie de unidades morfo sedimentarias escalonadas en el espacio y en el tiempo, con registros marinos erosivo-sedimentarios, que hemos identificado como terrazas marinas (Tm) (Figura 2) correspondientes a épocas interglaciales en las que el mar estaba a alturas similares o pocos metros por encima del nivel actual.

En la Figura 3 se recogen las terrazas marinas relacionadas con los yacimientos arqueológicos

localizados en nuestra zona de estudio, las cotas a las que se sitúan, así como el tipo de separación que existe entre ellas.

Cada unidad morfo sedimentaria consiste en una plataforma de abrasión, más o menos amplia, donde abundan las bioerosiones y que se corresponde con momentos transgresivos de una alta parada marina. Sobre esta rasa, y durante la etapa regresiva, se depositan secuencias sedimentarias de playa-duna-aluvial.

	Guadalquítón	Punta Mala	Partichuelos	Torre Nueva	Cortijo Carrasco
Tm₃	+29 m	+26 m		+22 m	+ 23 m
	Abanico aluvial	Abanico aluvial	Abanico aluvial	Escarpe	Aluvial y escarpe
Tm₂	+11 m	+8 m	+7 m	+7 m	+11 m
	Escarpe	Abanico aluvial	Aluvial y escarpe	Escarpe	?
Tm₁	+2,5 m	+2 m	+2 m	+2 m	

Fig. 3. Terrazas marinas relacionadas con los yacimientos de final del Modo 2 en los términos municipales de San Roque y La Línea de la Concepción (Las alturas están referidas al nivel medio de la pleamar).



Fig. 4. Plataforma de abrasión sobre arenisca de la Tm₂ (Guadalquítón-Borondo).

La secuencia marina más completa la hemos localizado en Guadalquítón (San Roque, Cádiz), donde existe una extensa plataforma de abrasión excavada sobre Arenisca del Aljibe (Figura 4) que presenta localmente bioerosiones de organismos litófagos pertenecientes al ichnogénero *Gastrochaenolites* (Figura 5), para el que se propone al bivalvo *Lithophaga lithophaga* (dátil de mar) como el organismo productor más probable. Sobre esta rasa, y de forma irregular, afloran depósitos de gravas no consolidadas de origen marino (playas) (Figura 6). Consisten en cantos, principalmente metamórficos, bien redondeados, de hasta 5 cm de diámetro, sobre todo de cuarzo lechoso aunque también dolomíticos y esquistosos. Encima de estas gravas y arenas de playa, en la zona más proximal de la terraza, hay unos 20 cm de arenas marrones de grano fino, bien cementadas por abundante óxido de hierro y conteniendo macrofauna muy alterada, por lo que solo hemos podido identificar algunos ostreidos. Las interpretamos como un depósito marino menos energético que el subyacente, propio de áreas costeras restringidas, como sugiere la presencia de los fósiles identificados. Encima aparecen unos 60 cm de arenas rojas menos cementadas; aunque de interpretación incierta podrían representar el episodio dunar, muy rubefactado, de esta unidad morfoestratigráfica.

En toda la franja litoral estudiada y discordantes sobre la plataforma de abrasión y los depósitos de playa-duna de la Tm₂, aparecen unos sedimentos continentales consistentes en conglo-



Fig. 5. Bioerosiones en la Tm₂ (Guadalquítón-Borondo).

merados soportados por una matriz de arcillas arenosas rojas, con cantos de Arenisca del Aljibe muy angulosos, heterométricos y sin redondeamiento, originados en abanicos tanto aluviales como coluviales (Figura 7). El material arqueológico recuperado de los distintos yacimientos, durante la campaña de prospecciones superficiales, está en relación con estos sedimentos aluviales de la unidad morfosedimentaria Tm₂.

La falta de elementos para realizar dataciones absolutas, ya que la fauna fósil es escasa y está muy alterada, solo nos permite dataciones relativas por comparación con las unidades morfosedimentarias similares descritas en la zona (Giles *et al.* 2000; Goy *et al.* 1995; Lario 1996; Rodríguez-Vidal *et al.* 2002 y 2007; Zazo *et al.* 1997). En la Figura 8, con datos tomados de Zazo, *et al.* (1999), se recoge la altura, datación radiométrica y estadio isotópico atribuible a las terrazas marinas más próximas a nuestra zona de estudio.

Nuestros estudios geomorfológicos y estratigráficos indicarían, como datación relativa, el nivel marino del último interglacial (estadio isotópico 5) para la Tm₂. Ahora bien, la existencia en numerosos puntos del tramo de costa estudiado de gravas cuarzosas de origen litoral (playas), a cotas intermedias entre Tm₁ y Tm₂ relacionadas o no con una pequeña plataforma (ver Figura 2) nos lleva a proponer para la zona la presencia de dos momentos de altas paradas del nivel del mar para el estadio isotópico 5, que, por comparación con



Fig. 6. Depósitos de playa en la Tm₂ (Guadalquitrón-Borondo).



Fig. 7. Sedimentos aluviales sobre la Tm₂ (Torre Nueva).

	Cota (m.a.s.l.)	U/Th (Ka)	Edad (IS)
	22		7
BOLONIA	13,5		5e
	9		5c
	2		Holoceno
TARIFA	19,5	122,6+/-2,7	5e
	11	99,6+/-2,0	5c
	9,2	470 (+166,-62)	11
GIBRALTAR	8,5	176,5+/-3,6	7
(Dead man's	5,25	92,5+/-1,3	5e
Beach)	3		5c
	1,5		Holoceno

Fig. 8. Terrazas marinas datadas en el área del Estrecho de Gibraltar (datos tomados de Zazo *et al.* 1999).

las datadas en la región, se corresponderían con los subestadios isotópicos 5e y 5c (130-122 y 105-93 ka, respectivamente). Los depósitos marinodunares de la unidad morfosedimentaria Tm₂ corresponderían al subestadio isotópico 5e, mientras que los depósitos de playa entre Tm₁ y Tm₂ serían asimilables al subestadio isotópico 5c. Según esto, la edad de los depósitos aluviales que fosilizan los sedimentos de la terraza marina Tm₂, y que contienen los productos arqueológicos, sería poco inferior a 122 Ka (ya que se depositaron en la etapa regresiva inmediatamente posterior al máximo transgresivo del subestadio isotópico 5e).

Por último señalar que la Tm₃ representaría alguna de las altas paradas del nivel del mar correspondientes al estadio isotópico 7 (249-187 ka), mientras que la Tm₁, claramente holocena, correspondería al máximo transgresivo del presente interglacial, datado en 6500 años antes de presente (Lario 1996).

IV. MATERIAS PRIMAS Y ÁREAS DE CAPTACIÓN

Los estudios geoarqueológicos realizados han estado enfocados a la identificación de las materias primas minerales seleccionadas en los procesos de transformación y fabricación de las herramientas de trabajo, determinar la procedencia de las mismas, así como los criterios de selección utilizados.

Para ello se realizó la clasificación mineralógica y petrológica *a visu* de las más de 500 piezas arqueológicas líticas recuperadas en los diferentes yacimientos (Figura 9). Además, se confeccionaron una serie de láminas delgadas de los principales tipos litológicos (tanto del material arqueológico como de las principales rocas aflorantes en la comarca) para su análisis con microscopía de luz polarizada (Figura 10) y la contrastación entre los materiales geológicos y arqueológicos, a fin de identificar las posibles fuentes de materias primas líticas durante este periodo.

El examen mediante microscopía óptica del material arqueológico nos confirma que la práctica totalidad de los restos materiales localizados están

LITOLOGÍA	G-B 1	G-B 4	Punta Mala	Partichuelos	Torre Nueva	C. Carrasco
Agmf	6	5	2	16	0	8
Agf	26	18	1	93	6	55
Agm	18	20	0	86	9	51
Agg	5	3	0	40	7	16
Agmg	0	1	0	7	3	4
Sílex	2	0	0	2	0	0
Metacuarcita	1	0	0	0	0	0

Fig. 9. Distribución litológica por yacimientos de los restos materiales minerales localizados durante las prospecciones superficiales (Agmf: arenisca de grano muy fino, Agf: arenisca de grano fino, Agm: arenisca de grano medio, Agg: arenisca de grano grueso, Agmg: arenisca de grano muy grueso).

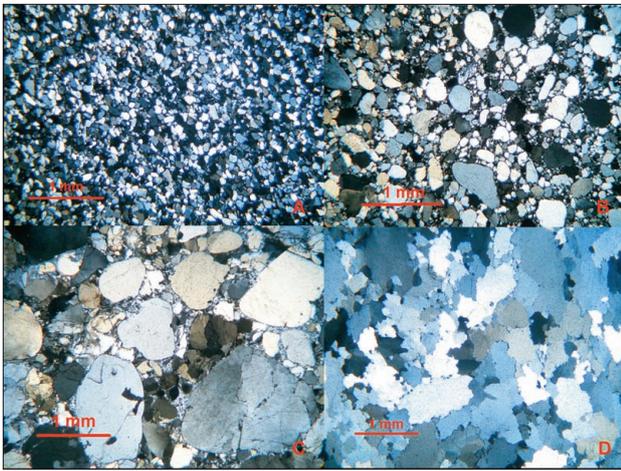


Fig. 10. Imágenes mediante microscopía óptica (luz doblemente polarizada) de láminas delgadas realizadas sobre material arqueológico. A) Arenisca de grano muy fino, B) Arenisca de grano medio, C) Arenisca de grano muy grueso, D) Metacuarcita.

elaborados en Arenisca del Aljibe de distintos tamaños de grano. Se trata de una roca en la que los granos de cuarzo (bien redondeados, mates o con facetado de origen eólico y tamaños de grano que van desde muy fino a microconglomerado) son el componente principal, y a veces el único, aunque pueden contener pequeñas proporciones de feldspatos y fragmentos de roca. Suele ser de colores anaranjado-amarillentos, aunque también rojizos, grisáceos e incluso verdosos. Se presenta, por lo general, en gruesos paquetes con el interior poco cementado y con una costra superficial endurecida por óxidos de hierro, exudados desde el interior, que los protege de la erosión (Torres 2008). Sin embargo, existen otros estratos intensamente cementados por la sílice removilizada de la propia arenisca, lo que les confiere compacidad, dureza y la propiedad de producir filos cortantes

ante los procesos de talla. Son estas areniscas más cementadas la materia prima mineral más utilizada, por lo que el grado de cementación constituye uno de los criterios de selección para el aprovisionamiento de materias primas minerales durante este periodo. Otros tipos de rocas como sílex o cuarcitas de origen metamórfico aparecen en proporciones ínfimas.

La distribución porcentual de litologías para los restos materiales detríticos muestra un dominio de las areniscas de grano fino y medio. La comparación de estos datos con sitios arqueológicos más antiguos dentro del tecnocomplejo Achelense (modo 2), como Algetares (Algeciras, Cádiz) (Castañeda *et al.* e.p. a), o con sitios más modernos dentro del IV-III milenio a.n.e., como Ventorrillo de la Trocha 1 y 2 (Algeciras, Cádiz) (Castañeda *et al.* e.p. b) (Figura 11), nos lleva a concluir que se produce una disminución en el tamaño de grano de las materias primas minerales detríticas utilizadas a lo largo del tiempo. Pasamos del predominio de las areniscas de grano medio y grueso en sitios adscritos al modo 2 (Achelense), a la mayor abundancia de areniscas de grano fino y medio, pero con importante presencia, aún, de las de grano grueso en los yacimientos de transición entre el modo 2 (Achelense) y 3 (Musteriense), como los que aquí nos ocupan, llegando a la preeminencia de las de grano fino, medio y muy fino en sitios como Ventorrillo de la Trocha 1 y 2.

Esta disminución en el tamaño de grano de las areniscas a lo largo de la Prehistoria indicaría la necesidad de materias minerales más homogéneas e isótropas, y por tanto con una fractura más precisa ante los procesos de talla, condición necesaria

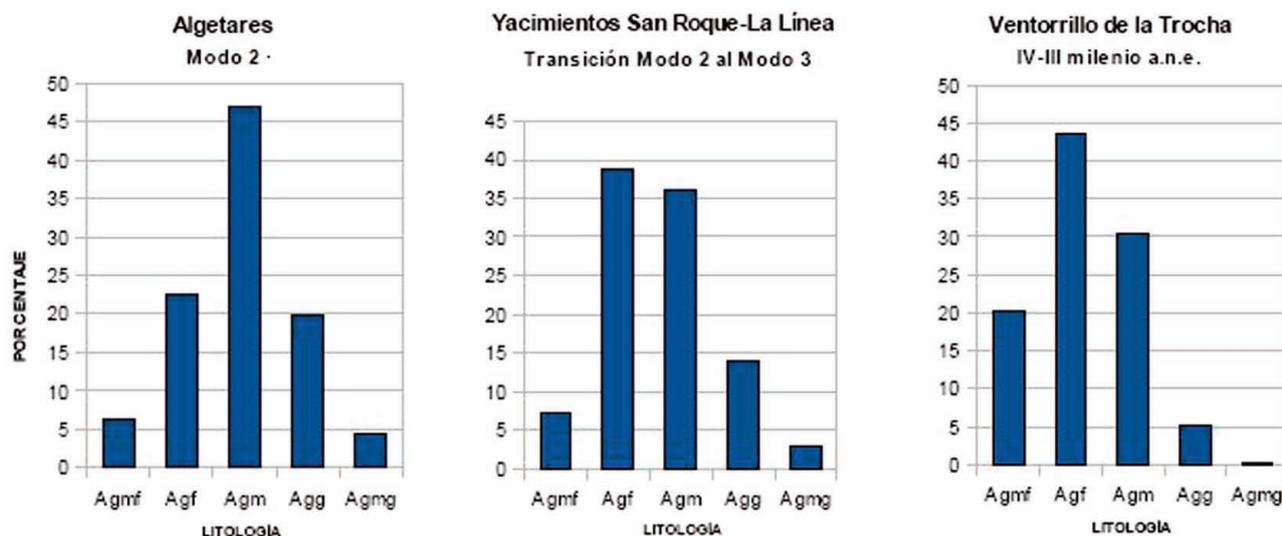


Fig. 11. Distribución porcentual de litologías detríticas en yacimientos de distintas edades del Campo de Gibraltar (Agmf: arenisca de grano muy fino, Agf: Arenisca de grano fino, Agm: arenisca de grano medio, Agg: arenisca de grano grueso, Agmg: arenisca de grano muy grueso).

por las técnicas empleadas y el proceso de micro-litización de las herramientas de trabajo durante la Prehistoria Reciente. La culminación de este proceso sería la sustitución de la arenisca por el sílex, hecho que en la comarca del Campo de Gibraltar no llega a producirse totalmente, perviviendo el uso de las areniscas hasta épocas muy recientes. Las razones de esto habría que buscarlas en la gran escasez de afloramientos de sílex en nuestra zona, lo que fue suplido con la utilización del material existente, aunque también habría que valorar la calidad de este tipo de material, sobre todo las de grano más fino.

Con respecto a la procedencia de las areniscas utilizadas como materia prima mineral, proponemos un origen local para todas ellas, concretamente los cantos de abanicos aluviales y coluviales tan abundantes en la franja litoral estudiada, donde se podría disponer de nódulos sueltos de diversos tamaños, que provienen de la erosión de Sierra Carbonera y Sierra del Arca. En este sentido hay que destacar la abundancia en estas sierras de estratos muy cementados por sílice y por tanto la riqueza de este tipo de arenisca en los productos de su erosión, lo que satisfaría el criterio de selección de bases naturales compactas y duras en estos sedimentos.

Los escasos restos materiales elaborados en sílex o metacuarcita tendrían su área fuente en las

terrazas fluviales del cercano río Guadiaro. La cuenca fluvial de éste comprende afloramientos de rocas metamórficas (inexistentes en la comarca) y de calizas jurásicas subbéticas que contienen sílex

V. APROXIMACIÓN A LOS MODELOS DE REDUCCIÓN LÍTICA Y CONFIGURACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE TRABAJO

El estudio arqueológico de las evidencias materiales en roca, las únicas identificadas hasta la fecha, se ha realizado a través de la formulación dialéctica planteada por el Sistema Lógico Analítico (Carbonell 1982; Carbonell *et al.* 1983; Carbonell *et al.* 1992), que se adecuan a nuestros planteamientos teóricos de partida y que ya han sido expuestas en otras ocasiones (Castañeda *et al.* 2005). Este modelo nos permite inferir los procesos de trabajo desde la localización y selección de las materias primas, los procesos de reducción y de fabricación de las herramientas de trabajo, su utilización y, finalmente, su abandono.

Las evidencias materiales identificadas con las última etapas del Achelense (modo 2) en el ámbito peninsular y asociadas a OIS5 se relacionan con un procesos de selección y aprovisionamiento de las materias primas, donde progresivamente va aumentando el empleo de un tipo de roca como es el sílex, más acorde con las nuevas estrategias de talla. Paulatinamente se observa una desaparición de los macroútiles (triédros, bifaces y cantos talla-

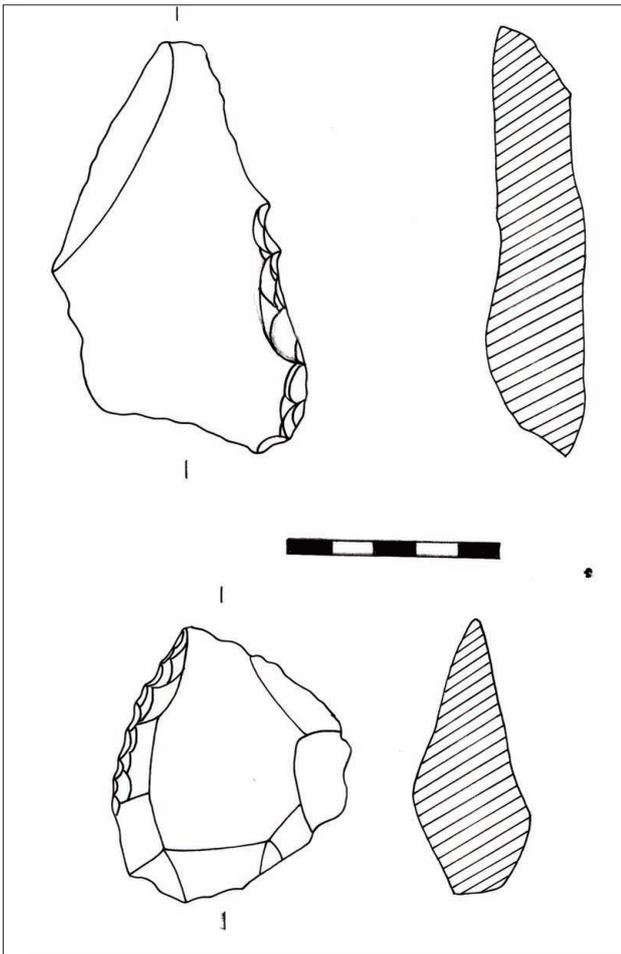


Fig. 12. Cortijo Carrasco. BN2GC: raederas.

dos) en beneficio de las herramientas sobre BP de tamaño mediano/pequeño y la progresiva ausencia de herramientas de gran formato sobre BP (bifaces y triédros). Estos principios, que a grandes rasgos se repite en el modelo planteado para la comarca del Campo de Gibraltar, presentan sus matizaciones:

- Una de las diferencias más palpables en relación con otros modelos peninsulares existentes, hace referencia a los procesos de selección y aprovisionamiento de las materias primas, donde, como ya hemos tenido ocasión de comprobar, se observa un uso mayoritario de la arenisca, especialmente aquellas bien cementadas (por sílice principalmente) y compactas (mayoritariamente de grano fino y medio), que ante lo procesos de fracturación permiten la obtención de fillos cortantes.

- Las materias primas empleadas en la fabricación de las herramientas de trabajo presentan

un carácter local de adquisición inmediata, localizándose éstas en el propio depósito arqueológico.

- En relación a las estrategias de talla, se observa un dominio de las BN1G de explotación (BN1GE), frente a las de configuración (BN1GC). Esta circunstancia debe ponerse en relación con la paulatina desaparición de los macroútiles (bifaces, triédros y cantos tallados), y donde en el caso del Campo de Gibraltar tan sólo se ha observado la presencia en proporciones ínfimas de cantos tallados.

- Las BN1GE, que definen los modelos de reducción lítica, se encuentran dominadas por aquellas que presentan un carácter progresista, frente a las técnicas de talla más simples. Este carácter progresista se relacionaría, por una parte, con la presencia de un modelo racional (longitudinal, bipolar ortogonal y bipolar opuesto), mientras que por otra con una preparación de las Bna, exhaustividad en las extracciones y predeterminación de los productos obtenidos (multipolar y centrípeto).

- Las modificaciones y las estrategias observadas en los procesos de reducción lítica determinan las BP documentadas, las cuales se caracterizan por una homogeneidad dimensional, con un formato mediano/pequeño y dominio de la dimensión anchura; dominio del carácter no cortical; una cara talonar representada por los unifacetados, los rotos/abatidos y los no facetados, documentándose en proporciones reducidas los bifacetados y los multifacetados.

- En relación a las herramientas de trabajo (BN2GC), que guardan una relación dimensional y de tipo con las BP, se observa el abandono de los grandes formatos, y la estandarización y generalización de los medios y pequeños con una elevada elaboración. Así, se comprueba un aumento significativo de las herramientas de trabajo sobre BP (raederas, raspadores, muescas, denticulados, retoque abrupto) (Figura 12), y una ausencia de los macroútiles.

Estas nuevas estrategias constatadas en los procesos de selección y configuración observada a finales del Achelense (modo 2) a inicios de OIS5,

debe ponerse en relación con unos cambios a nivel biosocial, que determinarán su forma de vida a partir de estas fechas.

VI. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA

Los sitios identificados a finales del Achelense (modo 2) en el Campo de Gibraltar no solamente se pueden caracterizar por los procesos de reducción y fabricación de las herramientas de trabajo, sino también por una nueva ordenación social del territorio. Así, a partir de estas fechas estas sociedades no solamente habitarán los lugares próximos a los valles fluviales de la comarca del Campo de Gibraltar (ríos Palmones, Guadarranque, Guadiaro y Hozgarganta) en sus tramos de costa y valle tal como había ocurrido en épocas anteriores (Castañeda 2008), sino también a través de estas vías naturales de comunicación las zonas de montaña, aunque siempre relacionado con los ámbitos fluviales y sus zonas limítrofes, no habitando aún las zonas más agrestes. Estas transformaciones, que también se observan en el ámbito peninsular, se relacionan con un calentamiento global probablemente asociado al inicio del subestadio isotópico 5e (130-122 Ka).

Los valles fluviales no solamente se convertirán en unos lugares idóneos para la vida de estas sociedades, al ofrecer unos recursos variados al lo-

calizarse en entornos ecológicos diversificados, sino también en unas interesantes vías naturales de comunicación que permiten la relación de diversos espacios geográficos. Así, el río Palmones permite la comunicación con los principales ámbitos fluviales de la banda atlántica de Cádiz y de la Baja Andalucía; mientras que por el contrario los ríos Guadiaro y Hozgarganta favorecen la comunicación con los biotopos de costa, valle y montaña, y especialmente con el área de la serranía de Ronda en los momentos finales del achelense (modo 2) (Castañeda 2009). A partir de estos sitios localizados en la comarca del Campo de Gibraltar y de otros (Guadalete, Corbones o Guadalhorce) se consolida definitivamente el poblamiento humano en la zona más occidental de las cordilleras Béticas.

Las modificaciones observadas en las estrategias de gestión y reducción de las materias primas y la configuración de las herramientas de trabajo; la nueva articulación social del territorio, con la llegada de estos homínidos a las zonas de montaña y el hábitat de diferentes biotopos a través del nomadismo, deben explicarse en el contexto del calentamiento global generalizado observado a inicios del subestadio isotópico 5e (130-122 ka), y en relación a la nueva realidad social y de comportamiento que nos acercan a la forma de vida de *Homo neanderthalensis* clásico.

BIBLIOGRAFÍA

- CARBONELL, E. 1982: *Application de la méthode dialectique à la construction d'un système analytique pour l'étude des matériaux du Paléolithique inférieur*. Dialektiké de Typologie Analytique. Inst. Universitaire de Recherche Scientifique.
- CARBONELL, E., GUILBAUD, M. y MORA, R. 1983: "Utilización de la lógica analítica para el estudio de tecno-complejos a cantos tallados". *Cahier Noir* 1: 3-64.
- CARBONELL, E.; RODRIGUEZ, X.P.; SALA, R. y VAQUERO, M. 1992: "New elements of the logical analytic system". *Cahier Noir* 6: 3-59.
- CASTAÑEDA, V. (Coord.) 2008: *Las primeras ocupaciones humanas de los Barrios (Cádiz)*. El ejemplo proporcionado por el río Palmones. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz e Istmo. Ayuntamiento de la Villa de Los Barrios. Cádiz.
- CASTAÑEDA, V. 2009: "El primer poblamiento humano de la serranía de Ronda y su relación con el Campo de Gibraltar. Una aproximación histórica". *Mainake*, XXX. Diputación de Málaga. Málaga: 331-344.
- CASTAÑEDA, V.; HERRERO, N.; MARISCAL, D.; TORRES, F.; DOMÍNGUEZ-BELLA, S. y CASTAÑEDA, A., 2005: "Las bandas de cazadores-recolectores en el Campo de Gibraltar. Balance tras nuestra primera campaña de prospección superficial en el termino municipal de Los Barrios (Cádiz)". *Anuario Arqueológico de Andalucía. 2002. II Actividades Sistemáticas y Puntuales*. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía: 9-21
- CASTAÑEDA, V.; TORRES, F.L.; COSTELA, Y.; PÉREZ, L. y BERNAL, J.M. 2008: "Las primeras ocupaciones humanas de San Roque. Las sociedades del Paleolítico". LACY, O, San Roque, Cádiz, *Revista de estudios Sanroqueños*: 9-24.
- CASTAÑEDA, V.; PÉREZ, L.; TORRES, F.; COSTELA, Y.; JIMÉNEZ-CAMINO, R. y TOMASSETTI, J.M. e. p. a: "Los modelos de reducción lítica en Algetares (Algeciras, Cádiz) durante el modo 2 y su contextualización histórica en el ámbito del Estrecho de Gibraltar". *Espacio, Tiempo y Forma, 2. Serie I, Prehistoria y Arqueología, Nueva Época*, UNED. Madrid.
- CASTAÑEDA, V.; COSTELA, Y.; TORRES, F. y PÉREZ, L. e. p. b: "Ventorrillo de la Trocha 1 y 2 (Algeciras, Cádiz). La consolidación de la economía de producción en el Campo de Gibraltar durante el IV y el III milenio a.n.e.". *II Jornadas de Prehistoria y Arqueología en el Campo de Gibraltar*. Los Barrios 5, 6 y 7 de junio de 2009. Cádiz.
- GAVALA, J. 1924: *Mapa Geológico de la provincia de Cádiz, escala 1:200.000*. I.G.M.E.
- GILES, F.; GRACIA, F.J.; SANTIAGO, A.; GUTIÉRREZ, J.M.; MATA, E.; AGUILERA, L.; FINLAYSON, C.; PIÑATEL, F. y BARTON, N. 2000: "Nuevas aportaciones a los complejos tecnológicos del Pleistoceno medio y superior del Campo de Gibraltar. Los yacimientos de El Chaparral (Los Barrios) y Guadalquítón-Borondo (San Roque)". *Caetaria*, 3. Museo Municipal de Algeciras. Algeciras: 13-26.
- GOY, J.; ZAZO, C.; SILVA, P.; LARIO, J.; BARDAJÍ, T. y SOMOZA, L. 1995: "Evaluación geomorfológica del comportamiento geotectónico del Estrecho de Gibraltar (Zona Norte) durante el cuaternario". En M. Esteras (coord.): *IV Coloquio Internacional sobre el Enlace Fijo del Estrecho de Gibraltar*. Vol. II. SECEG. Madrid: 51-69.
- LARIO, J. 1996: *Último y Presente Interglacial en el área de conexión Atlántico-Mediterráneo (Sur de España)*. Variaciones del nivel del mar, paleoclima y paleoambientes. Tesis Doctoral Universidad Complutense. Madrid.
- MARTÍN-ALGARRA, A. 1987: *Evolución geológica alpina del contacto entre las zonas internas y las zonas externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral Univ. Granada: 1-1.171.
- PENDÓN, J. 1978: *Sedimentación turbidítica en las unidades del Campo de Gibraltar*, Tesis Doctoral. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- RODRIGUEZ-VIDAL, J.; CÁCERES, L.; GRACIA, F.; MARTINEZ, F.; FINLAYSON, C.; GILES, F.; SANTIAGO, A. y PEGUERO, C. 2002: "El relieve kárstico de Gibraltar como registro morfosedimentario durante el Cuaternario (Mediterráneo occidental)". *SEDECK* 3: 6-15.
- RODRIGUEZ-VIDAL, J.; CÁCERES, L.; ABAD, M.; RUIZ, F. y MARTÍNEZ-AGUIRRE, A. 2007: "Morphosedimentary evidence of de Last Interglacial Maximum on the coast of Governor's Beach, Gibraltar". *GEOGACETA* 42: 107-110.
- RUIZ-REIG, P. 1994: *Mapa y memoria de la Hoja nº 87 (Algeciras) a escala 1:200.000*. I.G.M.E.
- TORRES, F. 2008: "Aproximación a la geología de la cuenca fluvial del río Palmones". En V. Castañeda (coord.): *Las primeras ocupaciones humanas de los Barrios (Cádiz)*. El ejemplo proporcionado por el río Palmones. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz e Istmo. Ayuntamiento de la Villa de Los Barrios. Cádiz: 67-82.
- ZAZO, C.; GOY, J.; HILLAIRES, C.; HOYOS, M.; CUERDA, J.; GHALEB, B.; BARDAJÍ, T.; DABRIO, J.; LARIO, J.; SILVA, P.; GONZÁLEZ, A.; GONZALEZ, F. y SOLER, V. 1997: "El nivel del mar y los interglaciales cuaternarios: Su registro en las costas peninsulares e insulares españolas". *Cuaternario Ibérico*. *AEQUA monografías*: 23-32.
- ZAZO, C.; SILVA, P.; GOY, J.; HILLAIRES, C.; GHALEB, B.; LARIO, J.; BARDAJÍ, T. y GONZÁLEZ, A. 1999: "Coastal uplift in continental collision plate boundaries: data from Last Interglacial marine terraces of the Gibraltar Strait area (south Spain)". *Tectonophysics* 301: 95-109.

VARIABILIDAD ESPECTRAL VIS-SWIR DE OBJETOS LÍTICOS DE CARÁCTER CULTUAL EN EL YACIMIENTO CALCOLÍTICO DE LA PIJOTILLA

VIS-SWIR SPECTRAL VARIABILITY OF LITHIC CULTURAL OBJECTS OF THE LA PIJOTILLA CALCHOLITIC SITE

Ángel Polvorinos del Río (1) / M.^a Jesús Hernández Arnedo (1) / Víctor Hurtado Pérez (2) /
Javier Almarza López (1) / Matilde Forteza González (1) / Rocío Gómez (1)

(1) Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla

(2) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla

RESUMEN: En este trabajo se analiza la diversidad mineralógica y tipológica de los objetos realizados en materiales calcáreos pertenecientes al yacimiento calcolítico de La Pijotilla (Badajoz). Los objetos analizados incluyen las diversas representaciones idólicas, así como un conjunto de muestras de materiales calizos localizados en afloramientos y canteras del entorno del yacimiento arqueológico.

Con el objeto de localizar las posibles fuentes de aprovisionamiento de los materiales utilizados, se ha utilizado el análisis espectral de la reflectancia difusa en el rango VIS-SWIR (400-2500nm) dada la rapidez, portabilidad y carácter no destructivo de esta técnica. De las canteras estudiadas hasta el momento se considera que la de Alconera es probablemente la fuente principal de los mármoles con que se elaboraron la mayoría de los objetos estudiados.

SUMMARY: The analysis of 101 cultural calcareous objects recovered in La Pijotilla (Badajoz) calcholithic site has been carried out for their mineralogical and typological characterization. The set of studied objects includes different idolic representations and samples of calcareous quarries in the environment of the archaeological site.

Fast, reliable, portable and non-destructive spectral reflectance VIS-SWIR (400-2500nm) measurements has been applied in order to identify the possible origin of the used resources. Of the six prospected areas of marbles, Alconera area has been identified as the main as potential sources for idol manufacture.

PALABRAS CLAVE: La Pijotilla, calcolítico, ídolos, reflectancia difusa.

KEY WORDS: La Pijotilla, calcholithic, idols, spectral reflectance

I. INTRODUCCIÓN

Los mármoles, en su sentido más amplio, constituyen materiales ampliamente utilizados a lo largo de la historia y son objeto de un intensivo y extensivo análisis. El elevado interés que suscita el estudio de estos materiales se debe a la continuidad de su uso en el tiempo y en el espacio, y su reutilización por las distintas culturas.

Los propósitos de estos estudios son diversos y van desde la determinación de procedencias al análisis de los mecanismos de su alteración y la propuesta de medias correctoras para su conservación. La identificación de la procedencia de mármoles ha provocado la realización de múltiples

trabajos de caracterización de rocas marmóreas en numerosos yacimientos y afloramientos, así como el análisis de numerosos objetos del patrimonio realizados en estos materiales. Los métodos de análisis utilizados son diversos, destacando los de caracterización mineralógica, tales como la difracción de rayos X, petrografía de láminas delgadas, catodoluminiscencia, etc., y los de análisis químico por absorción atómica, FRX, ICP, activación neutrónica o de análisis isotópicos. Todos estos métodos convencionales requieren la toma de muestra y por tanto se pueden considerar destructivos, si bien este calificativo no es de aplicar al caso de las muestras de canteras o afloramientos por la abundante disponibilidad de material; sin embargo son numerosos los casos de objetos del patrimonio en

que su análisis requiere la aplicación de métodos no destructivos ya que el valor cultural del bien prohíbe su modificación.

Con frecuencia es necesaria la aplicación de dos o más métodos convencionales de análisis para la obtención de parámetros discriminantes que permitan resolver de una forma concluyente la determinación de la procedencia de los recursos utilizados.

Es en este contexto de limitaciones en el que se plantea este trabajo, en el que se estudian un conjunto de ídolos recuperados en el yacimiento calcolítico de la Pijotilla (Badajoz) que mayoritariamente se realizaron en mármoles, y cuya procedencia material interesa conocer con el objeto de contribuir a la interpretación del desarrollo socio-cultural durante el calcolítico del SO de la Península Ibérica. Este yacimiento es especialmente significativo ya que acumula más del 90% de los objetos realizados en mármol recuperados en excavaciones arqueológicas en el SO de la península, si excluimos de este cálculo el menos abundante conjunto de objetos realizados en hueso y marfil. Todos los objetos estudiados forman parte del depósito del Museo Arqueológico de Badajoz y se han descrito desde el punto de vista macroscópico y estilístico, si bien no se ha realizado su estudio arqueométrico por métodos convencionales dado su valor. Este hecho, junto con la dificultad inherente al desplazamiento de objetos fuera del museo, justifica la utilización del método de reflectancia espectral VIS-NIR en el rango 350-2500nm, dado su carácter no destructivo y su portabilidad.

El interés de la utilización de esta técnica, rápida, portátil y no destructiva ya ha sido objeto de estudio para la caracterización y discriminación de carbonatos a partir de los parámetros de ajuste de las bandas de absorción que presentan en el rango 1600-2500nm (Gaffey 1986 y 1987). Otros trabajos previos justifican los patrones de absorción en los espectros de reflectancia de los carbonatos como debidos a procesos electrónicos en el rango visible, así como a los modos internos y vibracionales en el rango NIR debidos a los grupos $\text{CO}_3^{=}$ (Hunt y Salisbury 1971 y 1976; Adams 1974; Crowley 1986).

El objeto de este trabajo es determinar información sobre la mineralogía y la química de los mármoles utilizados en la realización del conjunto idólico de la Pijotilla a través del análisis de las propiedades espectrales de sus respuestas de reflectancia. La localización de posibles procedencias de estos materiales se realiza a través del análisis espectral de un conjunto de muestras de canteras y afloramientos locales caracterizados además por petrografía y difracción de rayos-X.

II. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE ESTUDIO

El conjunto de objetos estudiados se ha dividido en tres grupos siguiendo los criterios estilísticos y macroscópicos adoptados a raíz de su estudio arqueológico, y en adelante nos referiremos a ellos como ídolos antropomorfos, betilos y oculados, que incluyen un total de 18, 40 y 43 objetos respectivamente. Un elemento representativo de cada tipo se muestra en la Figura 1.

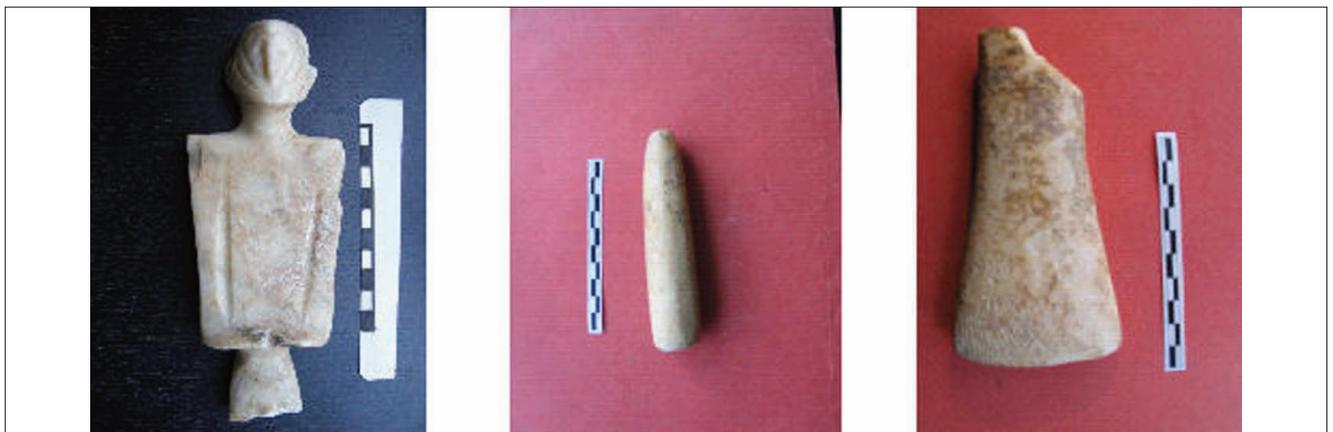


Fig. 1. Tipologías de ídolos del yacimiento de la Pijotilla depositados en el Museo Arqueológico de Badajoz, de los cuales 18 son antropomorfos, 40 betilos y 43 oculados.

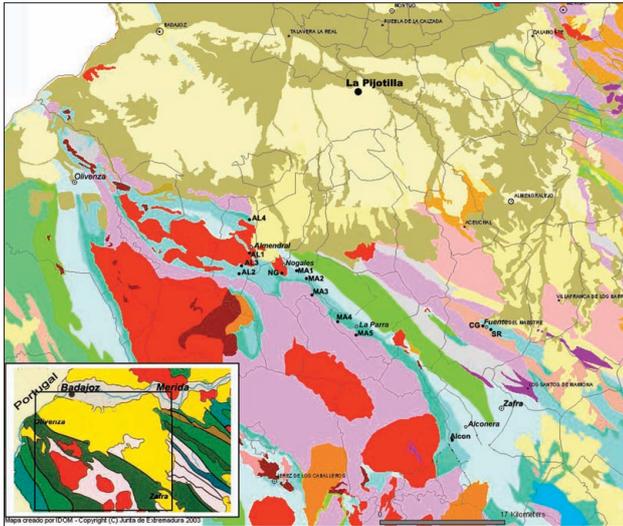


Fig. 2. Localización de canteras y afloramientos estudiados.

Por otra parte, tras la evaluación de las características geológicas de la región se ha efectuado la prospección y toma de muestras georeferenciadas de distintos materiales de naturaleza calcárea, calizas mármoreas y mármoles, en un entorno que cubre desde el yacimiento de la Pijotilla, hasta los afloramientos del sector de Jerez de los Caballeros, destacando los macizos de Cuesta Gorda y Sierra del Rubio en las proximidades de Fuente de Cantos (Magna 1:50000 n.º 829); Sierra de María Andrés, afloramientos de Nogales y Almendral (Magna 1:50000 n.º 828) y Sierra de Alconera (Magna 1:50000 n.º 854), cuya localización se indica en la Figura 2.

Petrográficamente se trata de un grupo de muestras que oscilan, según el grado de cristalinidad, entre las calizas cristalinas, calizas mármoreas y mármoles. Presentan texturas granoblásticas homométricas o heterométricas, con bordes entre los granos suturados y el característico aspecto en mosaico. Composicionalmente varían entre los términos muy puros con más 95% de carbonatos y prácticamente ningún accesorio, y la mayor o menor abundancia de cuarzo debido a silicificaciones posteriores. En algunos casos se observa la presencia de dolomita en cristales idiomorfos. En todas las muestras encontramos óxidos de hierro asociados a microfracturas y/o diseminados entre los granos. La presencia de opacos es variable y en algunos casos muy significativa. Se encuentran algunas muestras con textura bande-

ada debida bien a la presencia de filosilicatos (principalmente mica blanca), a la existencia de filoncillos de óxidos de hierro o, incluso, a la variabilidad de tamaños en la calcita. Se trata de rocas bastante tectonizadas, con abundancia de microfracturas, y maclas deformadas, estinciones ondulantes, así como orientación de cristales en algunos casos. También se observan grietas de disolución y posterior relleno con calcitas de gran tamaño. La mayoría de las muestras presentan alteración por ferruginización y sericitización dando un aspecto sucio a los cristales.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este estudio se ha centrado en la aplicación de los métodos de análisis espectral de reflectancia difusa para la caracterización tanto de los objetos culturales como de las muestras de cantera, así como los de difracción de rayos X y petrografía en este último caso.

Los espectros de reflectancia difusa de los ídolos y las muestras de campo se midieron directamente, es decir sin pulir o someter la muestra a ningún tratamiento, evitando zonas en que se observan posibles contaminaciones superficiales. El espectrofotómetro utilizado es un equipo portátil Terraspec de ASD 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 posición relativa entre el iluminante y la fibra es de 45º lo que reduce la posible contribución de la reflexión especular de las superficies pulidas. Los espectros se han medido sobre superficies homogéneas, utilizando un promedio de 30 adquisiciones tanto en la medida del patrón de referencia (Spectralon) como de cada muestra asegurando en todo caso la estabilidad de la medida. 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 el patrón de referencia. Los ejes verticales de

los espectros se indican como reflectancias e indican sus valores absolutos entre 0 y 1; en los espectros con substracción del continuo o aquellas gráficas que incluyen espectros desplazados para su comparación se entiende que son valores relativos de reflectancia.

El método de análisis de datos se basa en la modelización de las bandas de absorción presentes en los espectros de reflectancia utilizando el Modelo Gaussiano Modificado (MGM). Este método desarrollado inicialmente por Sunshine *et al.* (1990) permite el ajuste de cada espectro de reflectancia a través de la suma de las distintas bandas de absorción presentes; el ajuste se realiza de forma simultánea por funciones gaussianas de todas y cada una de las bandas de absorción así como del espectro continuo. La posición, anchura y profundidad de cada gaussiana son los parámetros que describen cada banda de absorción; el modelo de espectro continuo, que en energías se ajusta a una línea recta se describe por su pendiente y valor en el origen. El ajuste tanto de las bandas de absorción como del espectro continuo se realiza en unidades físicas de absorbancia aparente, es decir en logaritmos naturales de la reflectancia y en unidades de energía (Sunshine y Pieters 1992), y a diferencia de otros métodos durante el ajuste se incluyen todos los parámetros de cada banda así como del continuo.

En la Figura 3 se indican los espectros típicos de calcita y dolomita. A longitudes de onda menores de 1600nm el espectro es prácticamente plano para las fases puras; a partir de 1600nm en el espectro, tras la eliminación del espectro continuo se localizan siete bandas de absorción debidos a modos vibracionales del grupo carbonato; en ambos minerales se observan las mismas bandas, si bien la dolomita presenta las bandas desplazadas a longitudes de onda menores respecto a la calcita. Este desplazamiento así como la anchura de las bandas más intensas (Figura 3) se ha demostrado que son características de la mineralogía y que no están afectadas por el tamaño de las partículas o empaquetamiento (Gaffey 1986) lo que permite su aplicación como criterio de identificación.

Los parámetros de los modelos de absorción

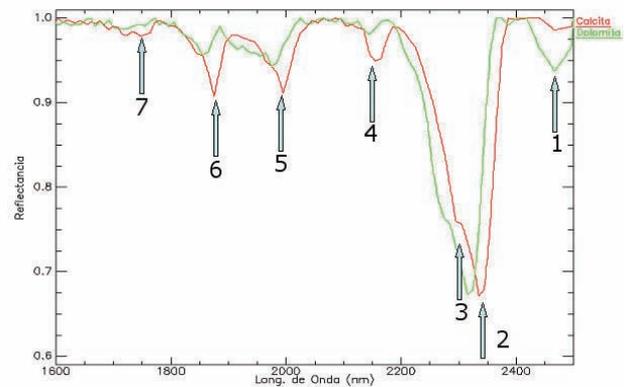


Fig. 3. Posición y desplazamiento relativo de bandas de absorción de calcita y dolomita entre 1600 y 2500nm con substracción del espectro continuo.

obtenidos con el algoritmo gaussiano modificado de los espectros de reflectancia de las muestras de cantera se indican en la tabla 1. Las posiciones de las bandas de absorción 2 y 3 de las muestras de cantera permiten identificar dos agrupamientos (Figura 4.a); en primer lugar la posición de las bandas de todas las muestras de la cantera MA y la muestra CG1 están a longitudes de onda menores que el resto, debido a su mineralogía dolomítica, mientras que el resto de los mármoles son calcíticos. Estos resultados determinados a partir de los espectros de reflectancia han sido corroborados por el análisis petrográfico.

Las mayores dispersiones en las posiciones de las bandas (Tabla 1), se observan en el conjunto de los mármoles calcíticos; obviando la influencia del tamaño de partícula en la dispersión de la posición de las bandas de absorción más importantes (Gaffey 1986), dichos desplazamientos pueden deberse a variaciones en el contenido en agua. Su presencia, por ejemplo en inclusiones fluidas, puede provocar el desplazamiento de algunas bandas a longitudes de onda mas corta debido a la intensa banda de absorción del agua a 1912nm (Gaffey 1986). Las bandas 1, 3 y 4 son las que presenta la mayor dispersión de los valores de sus posiciones, llegando en el caso de los mármoles calcíticos a solaparse con los valores más bajos observados en los mármoles dolomíticos. Dicha dispersión se ilustra en la figura 4.b en la que se observa que la posición de la banda 1 de los mármoles calcíticos llegan a valores próximos a los de los mármoles dolomíticos.

	Centro 7	Centro 6	Centro 5	Centro 4	Centro 3	Centro 2	Centro 1
AL1_1	1751	1872	1984	2180	2319	2343	2506
AL1_3	1755	1867	1981	2172	2314	2343	2511
AL1_4	1767	1873	1984	2176	2318	2342	2505
AL2_1	1782	1873	1972	2175	2312	2340	2541
AL2_3	1766	1911	1954	2220	2324	2338	2547
AL3_1	1765	1874	1976	2179	2319	2342	2515
AL3_2	1781	1909	1965	2181	2316	2339	2551
ALCON1	1772	1877	1964	2185	2319	2343	2508
ALCON2	1773	1877	1967	2205	2323	2342	2516
ALCON3	1781	1868	1979	2184	2322	2341	2518
ALCON4	1765	1907	1962	2239	2332	2342	2528
ALCON5	1778	1869	1971	2183	2321	2342	2510
ALCON6	1763	1874	1962	2199	2321	2342	2518
ALCON7A	1773	1865	1976	2224	2327	2343	2508
ALCON7B	1765	1909	1961	2240	2330	2342	2535
CG1	1763	1930	1967	2245	2313	2327	2508
CG2	1777	1877	1978	2219	2325	2340	2536
MA1	1781	1867	1960	2161	2297	2328	2526
MA2	1756	1861	1956	2188	2294	2327	2502
MA3	1764	1922	1956	2176	2296	2326	2502
MA4	1814	1922	1953	2181	2295	2325	2500
MA5	1817	1921	1959	2179	2294	2325	2503
NG2	1765	1912	1965	2188	2316	2341	2535
NG3	1758	1880	1974	2179	2318	2340	2534
NG5	1773	1867	1971	2171	2283	2342	2517
SR2	1775	1845	1953	2203	2301	2326	2500

Tabla 1. Posición del centro de las siete bandas de absorción calculadas por ajuste con el Modelo Gaussiano Modificado de las muestras de cantera.

El mismo efecto de dispersión de las posiciones de las bandas de absorción también se observa en los valores calculados para las muestras de ídolos. Las posiciones de las bandas de absorción de los ídolos se localizan en el rango correspondiente a los mármoles calcíticos, no detectándose en ningún caso la utilización de mármoles dolomíticos para su realización.

La sustitución de Fe²⁺ en la estructura de la calcita y dolomita presenta bandas de absorción específicas entre 1200 y 1300nm cuya profundidad aumenta a medida que el contenido en hierro se incrementa. La posición y la forma del patrón de reflectancia debido al Fe²⁺ es diferente para la calcita y dolomita; en ambos casos se manifiesta por una banda doble y ancha centrada alrededor de 1300nm para la calcita y 1200nm en la dolomita.

Dicha diferencia se ilustra para las muestra AL1_1 y MA2, la primera calcítica y la segunda dolomítica, en la Figura 5.

En la cantera Maria Andrés todas las muestras son dolomíticas con importantes contenidos en Fe²⁺ lo cual se ha corroborado por microscopía óptica; la muestra CG1 también es dolomítica con intensas bandas de absorción en el rango 1200-1300nm. Respecto a la presencia de Fe²⁺ en las muestras calcíticas, las de las canteras de sierra de Almendrales, Nogales y Fuente del Maestre presentan bandas de absorción bien definidas; en la cantera de Alconera la profundidad de estas bandas de absorción son bajas o nulas. La ausencia de estas bandas de absorción es característica de la mayor parte de los espectros de reflectancia de los ídolos antropomorfos y betilos ya que solo las

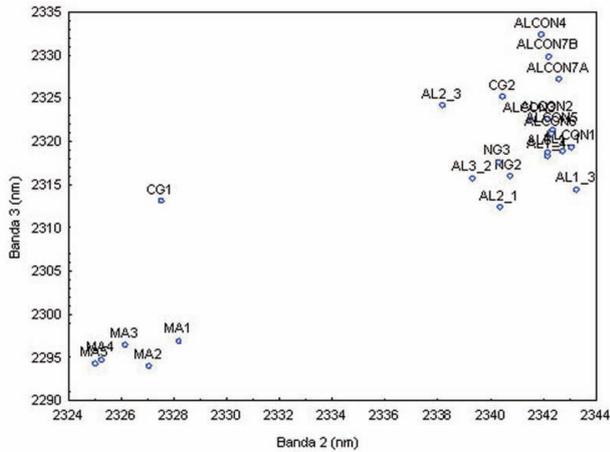


Fig. 4.a. Posición relativa de las bandas de absorción 2 y 3 en muestras de cantera

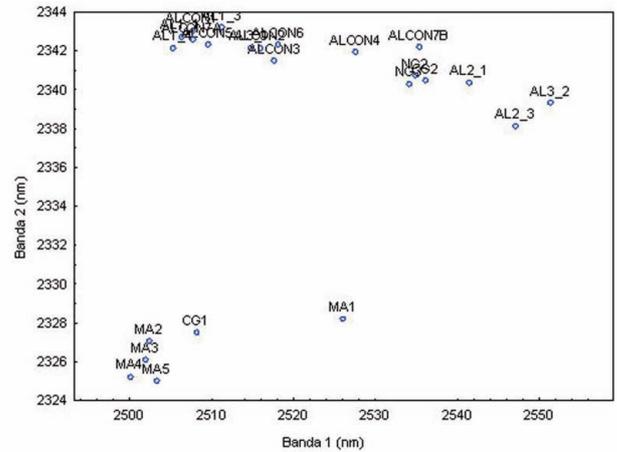


Fig. 4.b. Posición relativa de las bandas de absorción 1 y 2 en muestras de cantera.

muestras Ant10, Bet11 y Bet31 presentan bandas de absorción características de sustitución de Fe^{2+} . En el conjunto de ídolos oculados en cambio son 18 las muestras de un total de 43 las que presentan dicha sustitución.

Con el objeto de proponer posibles procedencias de los mármoles utilizados para realizar los ídolos se ha determinado el nivel de proximidad del espectro de reflectancia de cada objeto cultural con el conjunto de muestras de campo. Se han aplicado los algoritmos SAM (Spectral Angle Mapping) y SFF (Spectral Feature Fitting) implementados en ENVI (Environment for Visualizing Image, RSI© utilizando la base de datos espectrales de canteras (endmembers) para la clasificación espectral de los objetos culturales. El algoritmo SAM (Kruse y col.

1993) utiliza el ángulo multidimensional, igual al número de bandas, entre el espectro de reflectancia del ídolo a clasificar y cada uno de los espectros de las muestras de cantera; el grado de similitud espectral medido es relativamente insensible a posibles efectos de iluminación y de albedo. El método SFF se basa en la medida de ajuste entre las bandas de absorción tras la eliminación del espectro continuo del espectro a identificar y de los espectros de la base de datos, utilizando la profundidad y la forma de las bandas de absorción utilizando el método de mínimos cuadrados.

Estos métodos se han aplicado de forma independiente y de forma simultánea utilizando el rango espectral 1100nm-2500nm.

Tras el análisis de resultados, en la tabla 2 se resume la clasificación de posibles procedencias de los materiales en que se han realizado los objetos culturales agrupados por las tipologías de materiales identificados en las canteras; para cada tipología se indica el número de objetos cuya respuesta espectral es la más próxima a la muestra de cantera correspondiente. De todos los ídolos más del 50% se clasifican como muy similares a los mármoles de Alconera, e incluye 28 oculados de un total de 43, 28 betilos de un total de 43 y 4 antropomorfos de un total de 14.

Se sugiere la utilización de mármoles de Sierra de Almendral en la realización de ídolos antropomorfos ya que nueve objetos están adscritos por

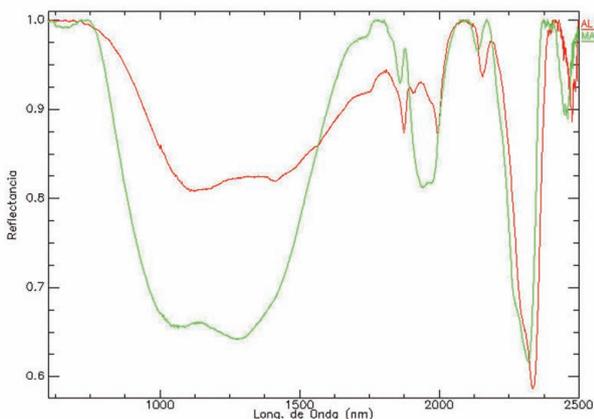


Fig. 5. Bandas de absorción debidas a la sustitución de Fe^{2+} en mármoles calcíticos (AL1.1) y dolomíticos (MA2).

	Sierra del Almendral (AL)			Nogales (NG)	F. del Maestre (CG)	Alconera (ALCON)						Total	S.C
	1.4	2.3	3.1			2	CG2	1	2	4	5		
Antropom.	4		5						3	1		13	1
Betilos		2		7		2	2	2	4	18		37	2
Oculados	12			2	1		1	1	14	9	3	43	0
T.muestra	16	2	5	9	1	2	3	3	21	28	3		
T.cantera	23			9	1	60						93	3

Tabla 2. Clasificación del número de objetos culturales identificados como similares a las muestras de las canteras correspondientes; estas muestras se identifican por la sigla de la primera fila (nombre de la cantera) seguida de la segunda fila (número de muestra de la cantera correspondiente). En la fila T. muestra y T.cantera se acumulan por muestras y canteras respectivamente. En la columna Total se indica en número total de cada tipo de objeto y en la columna S.C. en número de objetos sin asignar.

su semejanza espectral a las muestras AL1.4 y AL3.1, así como de 12 oculados de un total de 43 (Tabla 2). También se apunta a la posible utilización la cantera Nogales, situada cerca de la Sierra de Almendral para la realización de betilos. Los resultados de esta clasificación, evidentemente, son de carácter provisional pendientes de la adquisición de datos espectrales de otros afloramientos no muestreados durante la realización de este trabajo y que pudieran ser susceptibles de ser utilizados. En todo caso la proximidad de los afloramientos estudiados al yacimiento arqueológico de la Pijotilla les hace potencialmente susceptibles de haber sido utilizados, como se desprende de los análisis realizados.

IV. CONCLUSIONES

Los materiales utilizados para realizar los objetos culturales aquí estudiados son fundamentalmente mármoles.

Tanto las rocas de cantera muestreadas como los objetos culturales son mayoritariamente mármoles calcíticos; solo la cantera Maria Andrés (muestras MA) es dolomítica, no detectándose ídolos con esta composición.

La sustitución de Fe²⁺ en la estructura de los

carbonatos se ha identificado tanto en mármoles calcíticos como dolomíticos. Solo las muestras de Alconera presentan bajas o nulas sustituciones, al igual que los ídolos antropomorfos y betilos; únicamente las muestras Ant10 y Bet11 y Bet 31 tienen concentraciones de Fe²⁺ apreciables, así como un conjunto de 18 ídolos oculados.

Respecto a la procedencia de los materiales se descarta la utilización de la cantera de Maria Andrés, y se considera que la de Alconera es probablemente la fuente principal de los mármoles con que se elaboraron los objetos estudiados. No se descarta el uso de los mármoles de Sierra de Almendral para elaborar parte de los ídolos oculados y la de Nogales para la producción de algunos betilos.

El análisis de los espectros de reflectancia difusa es un método rápido, portátil y no destructivo, que se ha demostrado eficaz para la caracterización mineralógica y química de materiales calcáreos, así como su utilización para asignar posibles procedencias.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Museo Arqueológico de Badajoz por las facilidades de acceso y disponibilidad para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, J. B. 1974: "Visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes as applied to remote sensing of solid objects in the solar system". *Journal of Geophysical Research* 9: 4829-4836.
- CROWLEY, J. K. 1986: "Visible and near-infrared spectra of carbonate rocks: Reflectance variations related to petrographic texture and impurities". *Journal of Geophysical Research* 91 (B5): 5001-5012.
- GAFFEY, S.J. 1986: "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55 μm): Calcite, aragonite and dolomite", *American Mineralogist* 71: 151-162.
- GAFFEY, S.J. 1987: "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55 μm): Anhydrous carbonate minerals", *Journal of Geophysical Research* 92: 1429-1440.
- HUNT, G. R. Y SALISBURY, J. W. 1971: "Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, II. Carbonates". *Modern Geology* 2: 23-30,
- HUNT, G. R. Y SALISBURY, J. W., 1976: "Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, XII. Metamorphic rocks". *Modern Geology* 5: 219-228,
- KRUSE, F. A., LEFKOFF, A. B., BOARDMAN, J. B., HEIDEBRECHT, K. B., SHAPIRO, A. T., BARLOON, P. J., AND GOETZ, A. F. H., 1993: "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data". *Remote Sensing of Environment* 44: 145-163.
- SUNSHINE, J.M., PIETERS, C.M. Y PRATT, S.F., 1990: "Deconvolution of mineral absorption bands—An improved approach". *Journal of Geophysical Research: Solid Earth and Planets* 95: 6955-6966.
- SUNSHINE, J.M. Y PIETERS, C.M. 1992: "The modified Gaussian approach to quantifying compositional information in reflectance spectra". *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*: 187.

PÓSTERS ANÁLISIS DE MATERIALES

METALES



CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA E HIPÓTESIS FUNCIONAL DE “CRISOLES PLANOS” ESCORIFICADOS PROCEDENTES DEL YACIMIENTO CALCOLÍTICO DE SAN BLAS (CHELES, BADAJOZ)

ARCHAEOLOGY AND FUNCTIONAL HYPOTHESIS OF SCORIFIED “FLAT CRUCIBLES” OF THE SAN BLAS (CHELES, BADAJOZ) CHALCOLITHIC SITE

Ángel Polvorinos del Río (1) / M.^a Jesús Hernández Arnedo (1) / Javier Almarza López (1) / Matilde Forteza González (1) / Víctor Hurtado Pérez (2) / Mark Hunt Ortiz (2)

(1) Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.

(2) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla.

RESUMEN: En el estudio arqueométrico de 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz) del tipo “crisol plano” se aborda su caracterización mineralógica, química y textural, por difracción de rayos-X, microscopía óptica, fluorescencia de rayos X y análisis digital de láminas delgadas. Las pastas cerámicas de crisoles, en contraste con las cerámicas de uso común, indica el uso selectivo de arcillas aptas para soportar los procesos térmicos intensos. Las pastas de los crisoles incluyen desgrasantes que las hacen adecuadas para soportar el choque térmico de la producción metalúrgica.

La utilización de estos crisoles puede asociarse a la fase de reducción de mineral en la que no tiene lugar procesos de lixiviación de metal fuera de la masa escorificada, descartándose su utilización como moldes de lingotes o crisoles de fusión del metal.

SUMMARY: The archaeometric study of 12 shards of “flat crucibles” of the Chalcolithic site of San Blas (Cheles, Badajoz, SW Spain) has been carried out for their mineralogical, chemical and textural characterization with X-ray diffraction, optical microscopy, X-ray fluorescence and thin slide computer digital analysis. Crucible ceramics mineralogy, chemistry and texture are different of domestic shards pastes; selective use of coarse clays for crucible seems more adapted to thermal shock in metallurgical activities. The use of the studied crucibles can be linked to the mineral reduction phase without metal lixiviation out of the scorified body. The metallurgical function of these shards as fusion or moulding crucibles is not supported.

PALABRAS CLAVE: Crisol plano, calcolítico, Cheles, DRX, FRX, microscopía óptica.

KEY WORDS: Flat crucibles, Chalcolithic, Cheles, X-ray diffraction, XRF, optical microscopy.

I. INTRODUCCIÓN

La funcionalidad, uso y situación en la cadena productiva de los objetos arqueológicos son aspectos relevantes para interpretar, documentar y avanzar en el conocimiento integral de las sociedades en la prehistoria. A través del conocimiento espacio-temporal de aspectos tecnológicos implicados en la obtención, procesado y elaboración de los productos recuperados en excavaciones sistemáticas se contribuye a perfilar y mejorar la comprensión de las sociedades estudiadas. La cerámica es sin duda un tipo de material de especial relevancia por su conservación así como por su implicación en ámbitos diversos de la actividad, que van desde las rituales a las productivas, de almacenamiento, de uso culinario etc.

En las diversas campañas arqueológicas realizadas en el yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz) (Hurtado Pérez 2004), se ha encontrado un registro arqueológico de carácter arqueometalúrgico que cubre todas las fases de la producción de cobre: minerales, estructuras de combustión, escorias, gotas metálicas y objetos metálicos, así como cerámicas escorificadas del tipo “crisol plano”, con la característica coloración cenicienta de la pasta (Hunt *et al.* 2009).

Las cerámicas escorificadas objeto de este estudio son del tipo denominado “crisol plano”, que ha sido documentado en la mayoría de los yacimientos calcolíticos del Suroeste de la Península Ibérica con evidencias de actividad metalúrgica

(Hunt Ortiz 2003). Sobre la funcionalidad de los “crisoles planos” y su papel específico dentro de la cadena productiva del cobre se han apuntado varias hipótesis, que van desde su consideración como moldes de lingotes a la de pequeños crisoles-hornos de reducción (Hunt Ortiz 2003).

En este trabajo se presenta el estudio arqueométrico de 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento de San Blas del tipo “crisol plano” la mayoría de los cuales presentaron escorificaciones cuyos análisis mostraron claramente su relación con la producción de cobre. Los objetivos de este trabajo son la caracterización mineralógica, química y textural de las pastas cerámicas de los “crisoles” por diversas técnicas analíticas; la determinación del nivel de especificidad de este tipo de cerámicas respecto a las pastas convencionales; evaluar la diversidad de los materiales usados en la elaboración cerámica y proponer la posible funcionalidad de estas cerámicas en el marco del proceso productivo metalúrgico en época calcolítica.

II. METODOLOGÍA

De cada uno de los 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento de San Blas del tipo “crisol plano” se ha realizado la descripción macroscópica, la caracterización mineralógica por difracción de rayos-X y microscopía óptica, el análisis granulométrico del desgrasante por análisis digital de láminas delgadas, y su análisis químico por fluorescencia de rayos X.

La descripción macroscópica de cada muestra incluye la determinación de los parámetros de color que se han medido con un espectrofotómetro portátil Terrapec de ASD utilizando una sonda que incorpora la iluminación con una fuente halógena y la fibra óptica en una geometría 0-45°. 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 con una superficie de 5 mm de diámetro.

El análisis mineralógico por difracción de rayos X mediante el método del polvo, se realizó

con un difractómetro Bruker (modelo D8 Advance) con tubo de Cu y filtro de Ni, y unas condiciones de trabajo de 40 kV y 20 mA., con un barrido entre 5 y 60° con un paso de 0.02° y 2 s de tiempo de conteo.

La descripción petrográfica y la medida de la distribución granulométrica del desgrasante de las láminas delgadas se realizó por microscopía de luz transmitida con un microscopio Nikon Optiphot. La utilización del análisis cuantitativo de los parámetros de tamaño y abundancia de inclusiones no plásticas en cerámicas arqueológicas se ha postulado como una herramienta potente para abordar problemas de caracterización y discriminación de producciones (Streeten 1982, Middleton *et al.* 1985). El método empleado para discriminar granos minerales se basa en el procesado digital de múltiples imágenes digitales corregistradas de cada lámina delgada. Se ha realizado con un nuevo prototipo que incorpora un dispositivo simplificado de rotación del sistema de polarización y de adquisición de imágenes automático cuya descripción se presenta en otra comunicación de este congreso (Rodríguez y Polvorinos del Río en prensa). De los diversos procedimientos desarrollados para el procesado digital de imágenes petrográficas (Starkey y Samantaray 1993, Fueten 1997, Goodchild y Fueten 1998, Zhoua y col. 2004, Obara 2007) el método utilizado se basa en rutinas de tamizado digital (Polvorinos y Gómez 1999).

El análisis químico de cada cerámica se ha realizado por fluorescencia de rayos-X en un Panalytical (modelo AXIOS) de tubo de Rh e que incorpora un muestreador automático, 8 cristales analizadores, 3 colimadores. Las muestras en polvo fueron tamizadas a 50µm y secadas en estufa durante 24 horas a 105°C; 0.8g de muestra y 4.7 g de Li2B4O7 se procesaron para obtener perlas fundidas utilizando un equipo Philips PerlX'2 de inducción por radiofrecuencia.

Se han utilizado los procedimientos convencionales para determinar las concentraciones de los elementos mayores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅) así como elementos traza (Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr, Nb); las concentraciones que se presentan se dan % en peso y partes por millón (ppm) respectivamente.



Fig. 1. Muestras de crisoles C305 y C605.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Descripción macroscópica

Tras la limpieza de los 12 fragmentos cerámicos estudiados, algunos de los cuales se indican en la Figura 1, se han seleccionado para su análisis submuestras de aquellas partes de cada cerámica en que era menos evidente la presencia de indicios minerales o escorificaciones.

El espesor de las paredes cerámicas, su aspecto, la presencia de indicios de restos metálicos, y los parámetros de color de la pared exterior y la sección transversal de cada crisol son los paráme-

tros macroscópicos descriptivos que se recogen en la Tabla 1.

Solo las muestras C122 y C706 presentan indicios de restos metálicos de cobre alterados a carbonatos en el reborde superior de los crisoles. El espesor promedio de las paredes es próximo a 1.2cm; la pared del crisol C145 es la más fina con un espesor de 0.7cm, y las muestras C605 y C650B las mas anchas llegando a alcanzar 1.7cm de espesor. De los doce crisoles en siete casos la pared exterior es rojiza y la interior gris; la pasta de los cinco crisoles restantes es de aspecto homogéneo y color gris (Tabla 1).

	Espesor (cm)	Aspecto	Indicios Mineral.	Adom.	L	a*	b*	Adom.	L	a*	b*
C31	1	Homogénea	No	500	50.2	-5.2	0.5	500	50.2	-5.2	0.5
C53A	1.2	Ox. Superf.	No	580	48.4	0.8	6.4	573	50.41	-2.7	8.5
C122	1	Ox. Superf.	Si	577	49.7	-0.6	8.5	493	50	-6.0	-1.1
C145	0.7	Homogénea	No	494	50.1	-5.5	-0.7	494	50.1	-5.5	-0.7
C304	1.2	Ox. Superf.	No	571	50.4	-4.0	8.2	496	49.7	-5.0	-0.1
C305	1.4	Ox. Superf.	Si	569	50	-2.8	4.7	565	50.8	-5.3	6.0
C552	1.2	Ox. Superf.	No	579	49.5	0.5	11.1				
C605	1.7	Ox. Superf.	No	570	50.3	-3.4	5.9				
C650A	1.2	Ox. Superf.	No	566	50.4	-4.7	5.7	510	50	-5.1	1.6
C650B	1.6	Homogénea	No	526	50.3	-5.5	2.4	526	50.3	-5.5	2.4
C689	1.2	Ox. Superf.	No	583	49	6.5	2.1	534	50.3	-5.3	2.5
C706	1.4	Homogénea	Si	550	51.5	-7.8	5	560	50.7	-5.1	4.5

Tabla 1. Parámetros descriptivos macroscópicos. Espesor de la pared cerámica. Aspecto de la superficie cerámica. Presencia de indicios metalúrgicos. Parámetros de color (longitud de onda dominante, L, a*, b*) de la pared exterior y de la superficie transversal del crisol.

Estos resultados son consecuentes con la utilización de estas cerámicas en procesos metalúrgicos en ambientes reductores, en que la coloración rojiza de la pared exterior se debe a su oxidación superficial.

Caracterización mineralógica

La petrografía de todas las láminas delgadas coincide en destacar que los minerales opacos y poros son relativamente abundantes y redondeados, si bien en las cerámicas C20, C53A, C305, C605 y C706 los poros son alargados y conectando los granos del desgrasante.

Las fases cristalinas que integran el desgrasante incluyen cuarzo, feldespatos, plagioclasas, piroxenos, fragmentos de rocas ígneas y de rocas metamórficas, esquistos y pizarras. Los granos de cuarzo y los fragmentos de rocas ígneas tienen morfología redondeada, mientras que los de feldespatos son subredondeados / subangulosos y los de rocas metamórficas son alargados.

La cerámica C53A incluye, además, cristales de olivino de pequeño tamaño y algunos fragmentos redondeados de diabasas; la muestra C122 también incluye fragmentos de diabasas de menor tamaño que en la muestra C53A. La cerámica C145 presenta fragmentos de roca metamórfica con textura gneísica con granos rotacionales con sombras de deformación típica. Los granos de plagioclasas de mayor tamaño aparecen en las muestras C53A, C122 y C305; en la muestra C706 es significativa la mayor abundancia y el tamaño de los cristales de feldespato.

El análisis semicuantitativo de la composición mineralógica realizado a partir de los diagramas de difracción de rayos X del polvo de los crisoles (Tabla 2) permite diferenciar la presencia abundante de plagioclasas en las muestras C53A, C122, C305, las cerámicas con feldespatos C706 y C31 y las muestras C605, 650A y 650B con piroxenos como fases abundantes; en las muestras C304, C689, C145 y C552 indicios de feldespatos, plagioclasas y piroxenos caracterizan su mineralogía. Todos los minerales identificados por difracción de rayos X (Tabla 2) han sido identificados por pe-

trografía de sus láminas delgadas, y por tanto no se generaron durante el proceso de cocción de la cerámica o de su uso en los supuestos procesos metalúrgicos. La ausencia de filosilicatos sugieren unas temperaturas de cocción/utilización superiores a 850°C.

Muestra	Cuarzo	Feldespatos	Plagioclasas	Piroxeno	Olivino
C53A	MA	-	A	M	M
C122	MA	-	A	I	-
C305	MA	I	M	I	-
C706	MA	A	I	-	-
C31	MA	M	I	I	-
C605	MA	-	-	M	-
C650A	MA	-	-	M	-
C650B	MA	-	-	M	-
C304	MA	I	I	I	-
C689	MA	I	I	I	-
C145	MA	I	I	I	-
C552	MA	I	-	I	

Tabla 2. Mineralogía por difracción de rayos X. MA: muy abundante, A: abundante, M: abundancia media, I: indicios, -: no detectado.

Granulometría del desgrasante

La distribución del tamaño de los granos del desgrasante se ha determinado a partir de 30 imágenes corregidas de cada lámina delgada, medidas entre nicols cruzados giratorios; se ha utilizado un dispositivo de giro de los polarizadores cruzados controlado con un ordenador y una cámara digital para la adquisición sincronizada de las imágenes con el giro de los polarizadores (Rodríguez y Polvorinos en prensa). La segmentación de los poros y el desgrasante de cada lámina delgada se ha realizado por el procesado digital de las imágenes (Polvorinos y Gómez 1999).

Las distribuciones acumuladas de la superficie del desgrasante se han medido en imágenes que cubren una superficie de lámina delgada de 0.7cm² (Figuras 2 y 3) y se representan en función del diámetro medio de los granos expresados en la escala phi (-log₂ d_{max}).

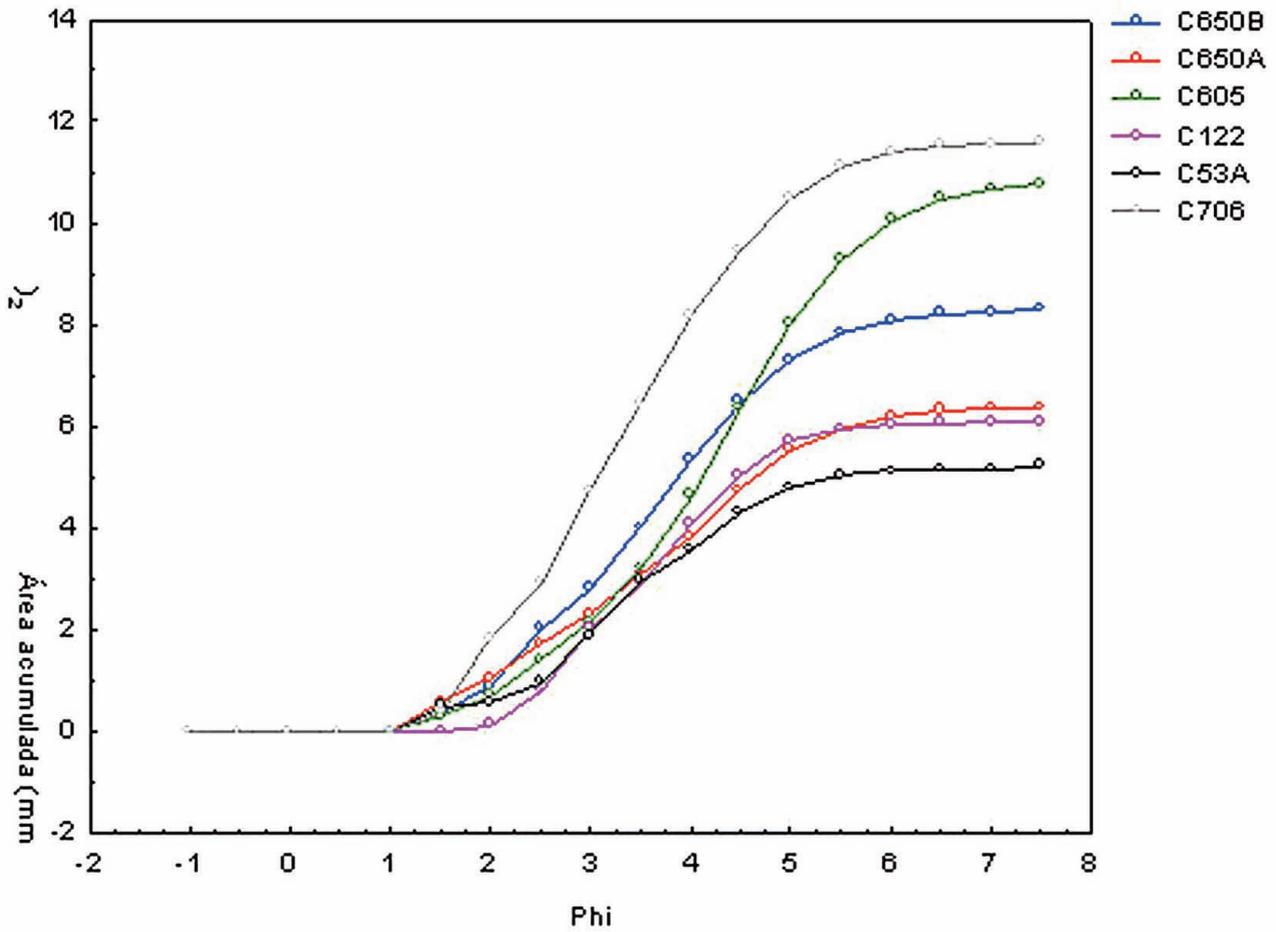


Fig. 2.a. Distribución granulométrica de cerámicas con menos desgrasante (C53A, C122 y C605) y las de mayor diámetro medio (C706, C605 y C650B).

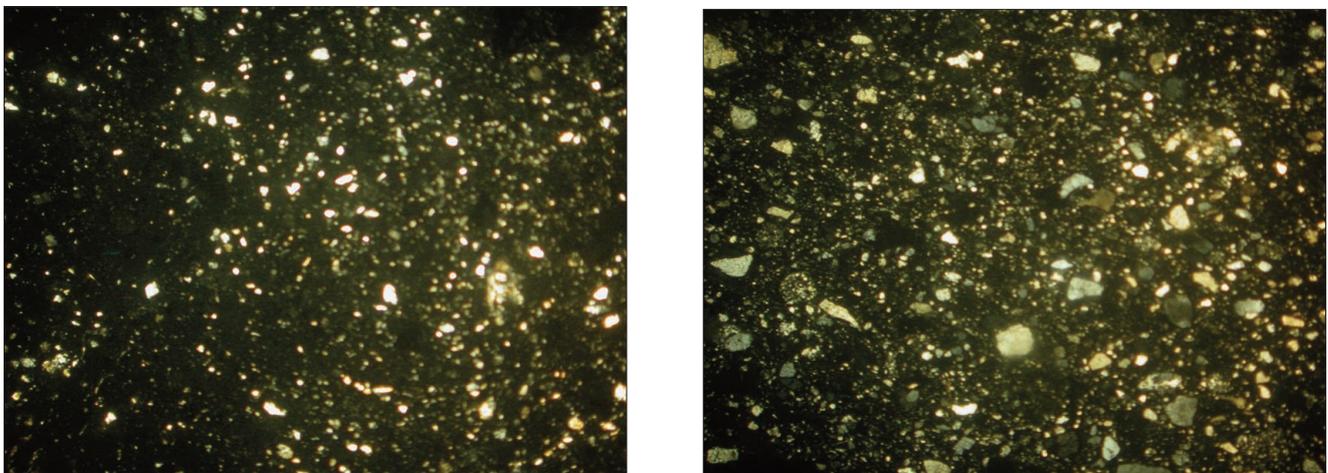


Fig. 2.b Detalle de imágenes con nicols cruzados de las cerámicas C122 (izquierda) y C706 (derecha). El tamaño de la superficie cubierta es de 1cmx0.7cm.

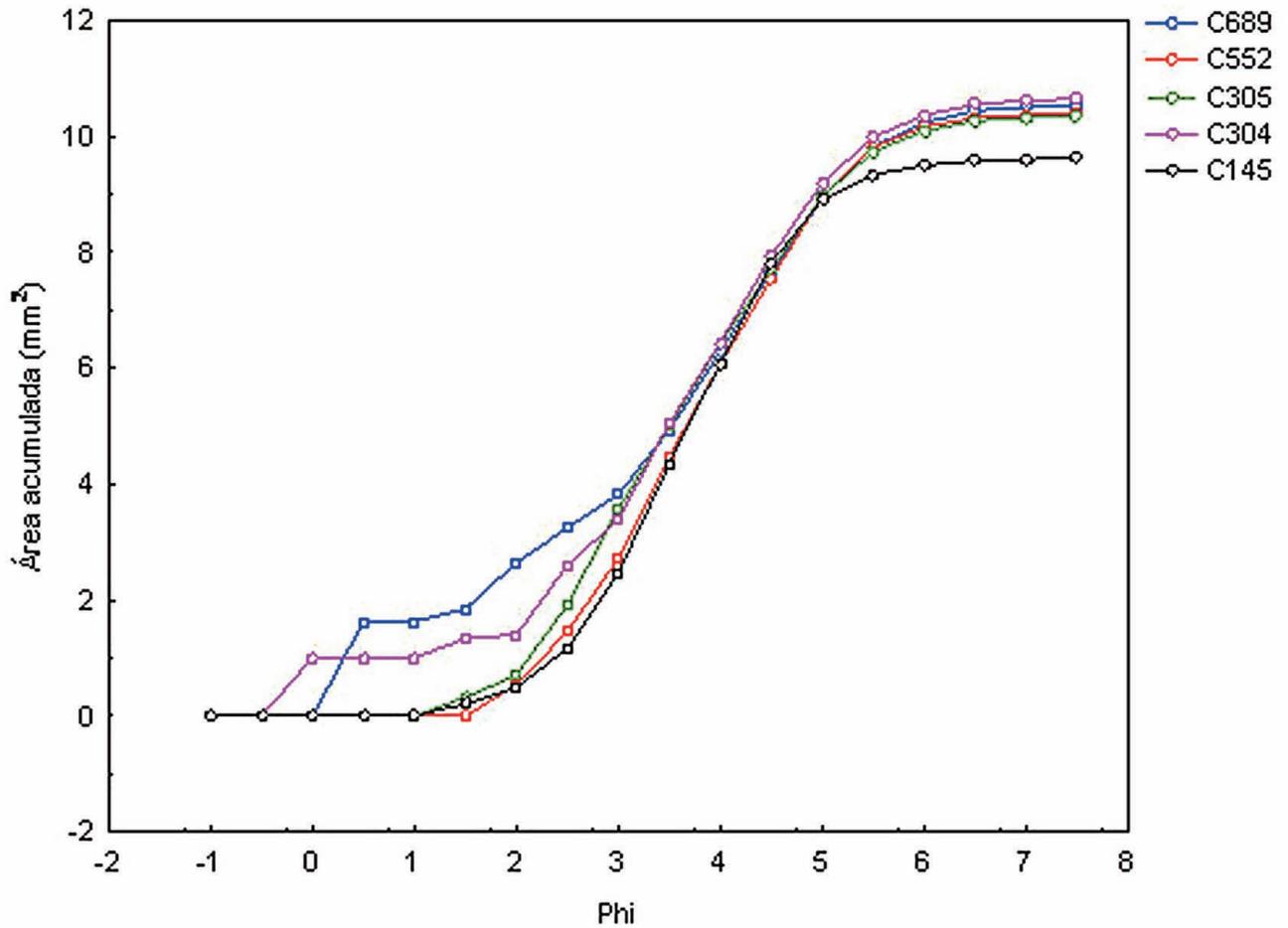


Fig. 3.a. Distribución granulométrica de cerámicas con menor selección de tamaño de grano.

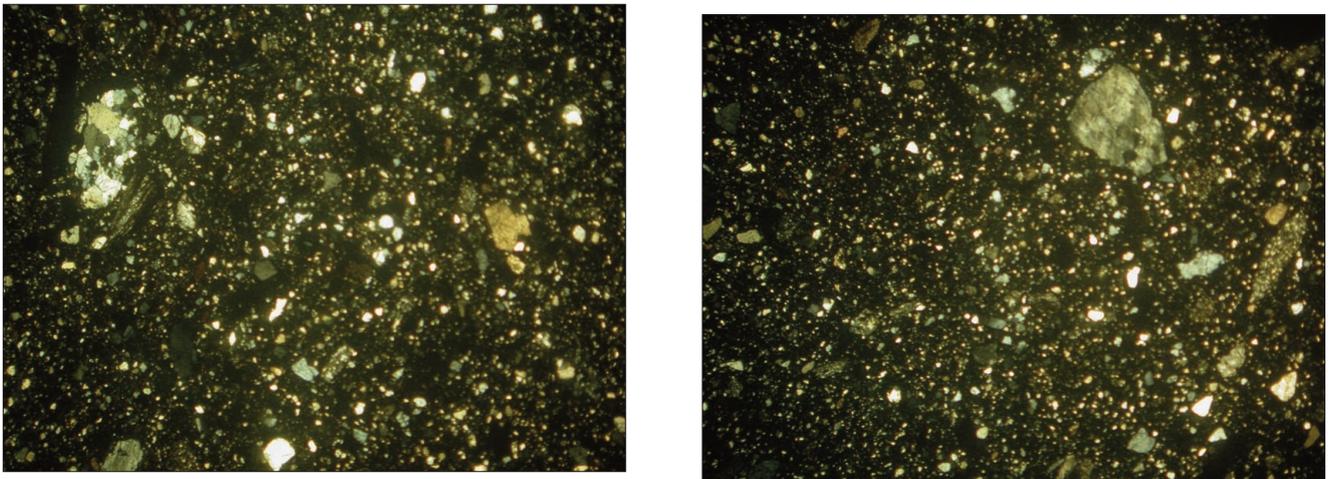


Fig. 3.b. Detalle de imágenes con nicolas cruzados de las cerámicas C689 (izquierda) y C304 (derecha). El tamaño de la superficie cubierta es de 1cmx0.7cm.

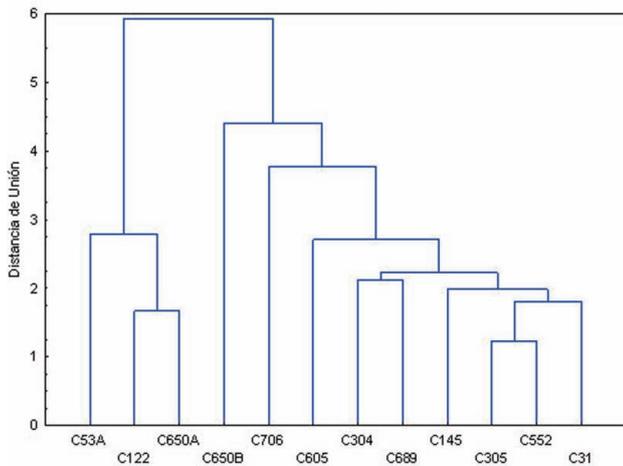


Fig. 4. Análisis de conglomerados de la granulometría del desgrasante.

El análisis estadístico de las distribuciones acumuladas del desgrasante de las 12 cerámicas se ha realizado por el método de análisis de conglomerados, aplicando una distancia euclídea de unión y un esquema aglomeración simple (Figura 4).

Las cerámicas, C53A, C122 y C650A definen un grupo bien diferenciado del resto (Figura 4), cuyas distribuciones del desgrasante (Figura 2.a) indican que la superficie total cubierta por los cristales es inferior a 0.6 cm^2 lo que representa menos del 10% de la superficie total de la cerámica; el diámetro medio de los cristales es próximo a 0.09 mm . Este conjunto de cerámicas son las de desgrasante más fino de los crisoles estudiados.

Los crisoles C31, C552, C305, C145, C689 y C304 constituyen un grupo cerámico homogéneo desde el punto de vista de la granulometría de su desgrasante (Figura 1); la asociación de las muestras C605, C706 y C650B al conjunto anterior se realiza a distancias de unión mayores debido a diferencias en su granulometría. La diferencia entre las granulometrías de las muestras C605, C706 y C650B y el primer conjunto (Figura 2.a) indica que el desgrasante de estas muestras está bien seleccionado, tiene un diámetro medio de 0.125 mm y acumula una superficie próxima a 12 cm^2 lo que representa poco menos del 20% de la superficie total. El aspecto que presentan entre nicóles cruzados las cerámicas C122 y C706 representativas de ambos conjuntos de tipos granulométricos se indica en la Figura 2.b.

En el conjunto que integra los fragmentos C31, C552, C305, C145, C689 y C304 (Figura 3.a) los cristales son de tamaño intermedio entre los de los grupos indicados en la Figura 2.a. Las cerámicas integradas en este grupo, presentan una granulometría que sugiere la superposición de dos poblaciones de cristales en el desgrasante (Figura 3.a y b).

En resumen la granulometría del desgrasante de todos los crisoles es relativamente bien seleccionado; los crisoles C689 y C304 son los que incluyen fragmentos minerales de mayor tamaño y menor selección granulométrica.

Análisis químico

Del análisis factorial de todas las muestras, utilizando elementos mayoritarios y excluyendo los de mayor coeficiente de variación P.C., MnO y P2O5, se han identificado dos grupos (G1 y G2) de arcillas y una muestra (C53A) claramente diferenciada del resto, cuyos rangos de composición se indican en la Tabla 3.

El crisol C53A, cuya peculiaridad mineralógica respecto del resto ya se ha indicado previamente, tiene el contenido más alto en Fe-Mg-Mn de todo el conjunto. De los dos grupos en que se han clasificado el resto de los crisoles, las muestras C31, C305, C552, C650B y C706 integran el grupo G1, y se elaboraron con arcillas silíceas cuya concentración en SiO₂ varía entre 63 y 68.5%; las 6 muestras restantes que forman el grupo G2 tienen una composición intermedia entre el grupo G1 y la muestra C53A, con concentraciones en SiO₂ entre 55.9 y 62.5%.

Entre los grupos cerámicos G1, G2 y la muestra C53A los contenidos en Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO y MgO son crecientes. Las mayores concentraciones en CaO y Na₂O del grupo G2 respecto del G1 se asocian a la mayor acumulación de plagioclasas Na-Ca. Se observan los mismos rangos de concentración para el resto de los elementos mayoritarios K₂O y TiO₂ entre los grupos G1 y G2.

Respecto de los elementos minoritarios y trazas se resalta la variación sistemática entre los

	G1 C31, C305, C552, C650B, C706					G2 C122, C145, C304, C605, C650A, C689					C53A
	Med.	Mín.	Máx.	Dev. Est.	CV(%)	Med.	Mín.	Máx.	Dev. Est.	CV(%)	
SiO ₂	65.7	63.8	68.6	1.8	2.8	59.7	55.9	62.5	2.6	4.3	51.3
Al ₂ O ₃	14.4	12.1	16.3	1.6	11.2	17.6	16.1	19.0	1.1	6.0	19.6
Fe ₂ O ₃	7.9	7.5	8.9	0.6	7.2	9.9	8.3	10.7	1.0	10.1	16.2
MnO	0.1	0.1	0.2	0.0	14.8	0.2	0.1	0.4	0.1	52.2	0.6
MgO	1.1	1.0	1.2	0.1	6.3	1.2	1.1	1.3	0.1	6.4	2.9
CaO	1.9	1.0	2.5	0.7	36.0	2.3	1.7	3.4	0.8	32.3	2.3
Na ₂ O	1.1	1.0	1.2	0.1	6.4	1.1	0.7	2.2	0.6	52.0	1.3
K ₂ O	3.2	2.4	3.7	0.5	14.4	3.2	2.5	3.7	0.4	14.2	1.1
TiO ₂	0.7	0.7	0.8	0.1	7.4	0.9	0.6	1.1	0.2	22.2	1.0
P ₂ O ₅	1.6	0.1	3.1	1.1	69.8	1.7	0.4	3.4	1.4	84.1	2.0
P.C.	0.3	0.1	1.1	0.4	125.7	0.3	0.1	1.1	0.4	128.2	0.2
As	104.5	11.1	307.8	119.0	113.9	41.6	4.9	120.1	50.5	121.4	3.7
Ba	907.6	501.6	1458.2	348.6	38.4	961.8	314.9	1606.4	556.9	57.9	1079.8
Co	25.5	19.7	29.1	3.8	14.9	36.8	30.2	44.8	6.5	17.7	50.8
Cr	141.0	82.1	302.2	92.0	65.3	174.1	103.0	280.3	65.3	37.5	362.3
Cu	6231.7	458.8	23272.0	9629.0	154.5	4447.5	85.7	17410.7	7140.2	160.5	178.4
Ni	71.2	52.0	125.8	30.7	43.2	86.7	62.6	128.6	24.8	28.7	119.2
Pb	26.1	11.6	53.7	17.6	67.4	19.3	6.4	42.8	12.7	65.7	34.2
Rb	106.9	88.2	139.2	19.1	17.9	109.1	80.5	131.3	20.5	18.8	35.6
Sr	157.1	96.6	204.0	46.5	29.6	173.3	91.0	308.7	86.1	49.7	170.9
V	99.7	90.0	116.5	10.7	10.8	164.2	126.3	279.6	57.7	35.1	239.1
Zn	71.9	51.5	86.2	12.7	17.7	82.6	50.6	123.4	24.2	29.3	119.7
Zr	305.5	242.2	360.7	51.5	16.9	264.9	171.3	350.8	75.4	28.5	173.6
Nb	28.6	21.2	32.3	4.3	15.1	24.9	18.6	32.8	5.3	21.3	16.9

Tabla 3. Parámetros estadísticos de los grupos G1 (C31, C305, C552, C650B, C706); G2 (C122, C145, C304, C605, C650A, C689) y C53A.

elementos ferromagnesianos Fe-Co-Ni-V frente a SiO₂, lo que sugiere la naturaleza continua de la serie composicional, con la acumulación de estos elementos en los términos más básicos.

La diferencia en composición química entre ambos grupos no indica una utilización de arcillas diferentes; la variabilidad natural así como la posible adición de desgrasante en distinta proporción justifica la diferencia entre ambos grupos cerámicos cuya relación con la distribución granulométrica se analiza más adelante.

Es reseñable el elevado contenido en cobre de algunos crisoles, que llega a alcanzar el 2.3% en el caso de la muestra C552, lo que indica su probable utilización en actividades metalúrgicas como sugiere el contexto arqueológico. La relación Cu-As de la Figura 5 indica que la acumulación de estos metales en las pastas de las cerámicas C304,

C53A, C605, C650A, C689 y C706 es inferior a 500ppm, concentraciones que son próximas al fondo geoquímico; así, estas bajas concentraciones de cobre sugieren que si se han utilizado en procesos metalúrgicos no ha habido procesos de difusión de este metal en la parte analizada de la pasta cerámica, dada la evidencia de restos metálicos presentes en el borde interior de las cerámicas C650A y C706 (Hunt Ortiz *et al.* 2009).

En consecuencia se puede descartar su uso como molde o como crisol de fusión, pudiendo asociarse a la fase de reducción de mineral en la que no tiene lugar procesos de lixiviación de metal fuera de la masa escorificada que se formaría en la parte superior del recipiente.

La presencia de cobres arsenicales en las pastas C31, C305, C552 y C650B cuya granulometría y composición química ha sido caracterizada

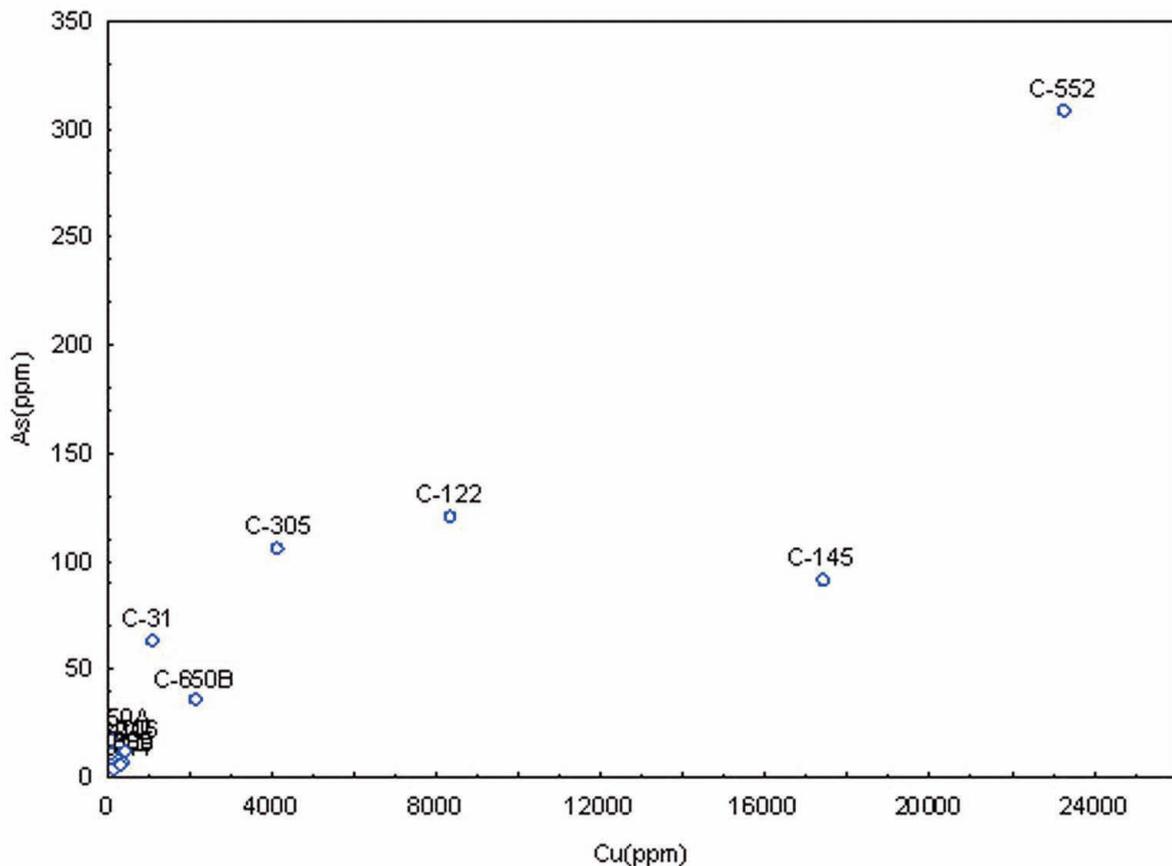


Fig. 5. Relación Cu-As de los crisoles.

previamente por tener texturas relativamente groseras e incorporar desgrasantes silíceos coinciden con los análisis de las fases metálicas superficiales (Hunt Ortiz *et al.* 2009).

Con el objeto de evidenciar la posible relación entre la composición química y la granulometría de los crisoles se ha realizado la clasificación cruzada entre ambas clasificaciones (Tabla 4). En el grupo G1 de composición más silíceas que incluye 5 muestras, 3 de ellas presentan texturas con presencia de desgrasante poco seleccionado y las dos restantes (C605B y C706) con abundante desgrasante. Entre las seis muestras del grupo G2, de composición más ferromagnesiana que la del grupo G1, tres tienen granulometría poco seleccionada, dos con textura fina (C122 y C650A) y una (C605) con abundante desgrasante. Se observa que en las cerámicas más silíceas (G1) no aparecen las granulometrías más finas; esta textura solo aparece en las pastas más ferromagnesianas, es decir en el grupo G2.

Para determinar el nivel de especificidad de este tipo de cerámicas respecto a las pastas convencionales se comparan los rangos de variación de ambos conjuntos de cerámicas. Los análisis por fluorescencia de rayos X de 9 cerámicas comunes y las de crisoles (Tabla 5) indican que la composición química y los rangos de variación para ambos tipos de cerámica es diferente lo que indica la utilización selectiva de distintas fuentes de arcilla para su producción; las arcillas de las cerámicas comunes son más ricas en Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO y TiO_2 que las de los crisoles debido a la naturaleza más ferromagnesiana de los minerales que incluyen.

Los crisoles tienen concentraciones medias en SiO_2 (62.4%), y K_2O (3.2) más elevadas que las de las cerámicas comunes que acumulan SiO_2 (50.3%) y K_2O (1.6%). La discriminación entre ambos tipos de arcilla se ilustra en la Figura 6.

Es de resaltar que de todos los crisoles solo la muestra C53A presenta la misma composición química

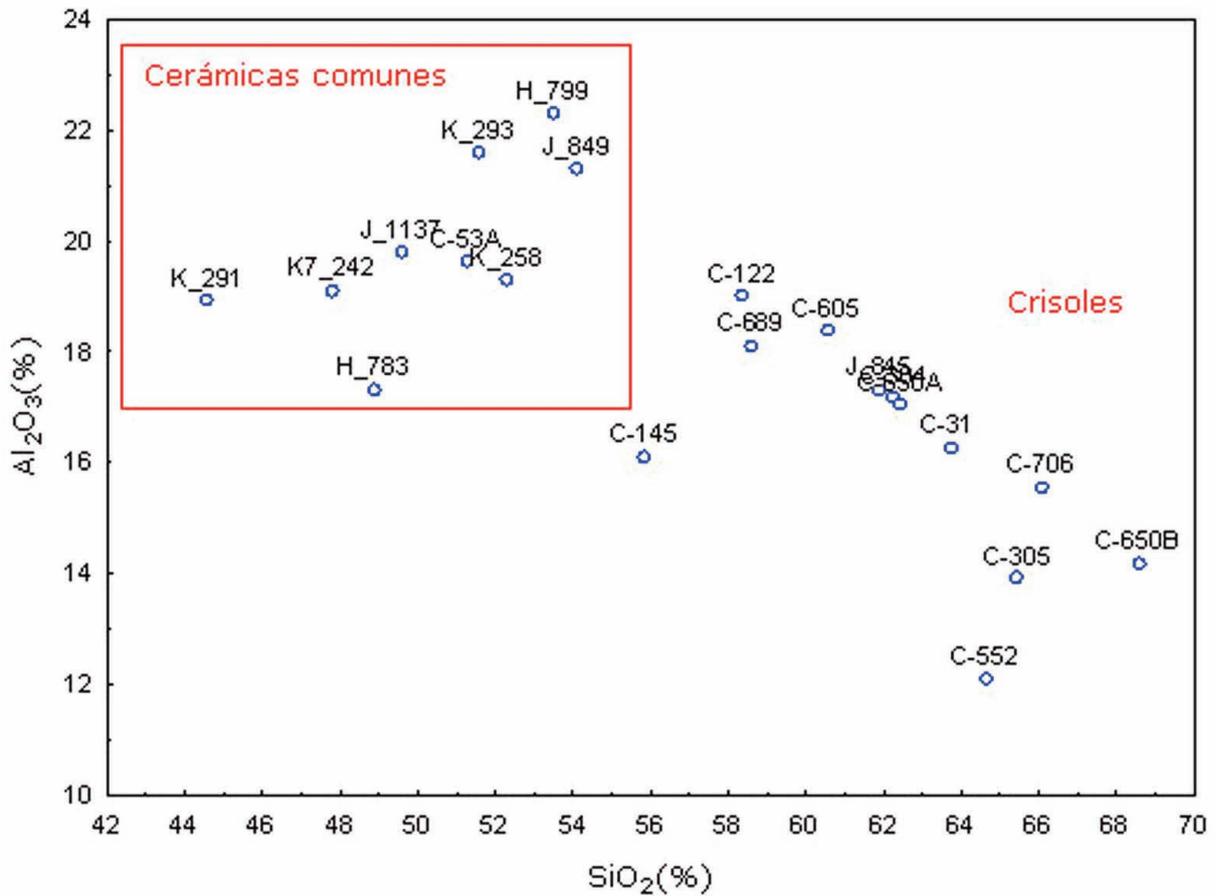


Fig. 6. Diagrama de variación SiO₂ vs Al₂O₃ de cerámicas comunes y crisoles.

		Granulometría de baja selección	Textura fina	Desgrasante acumulado alto
Grupo química G1 (silíceas)	C31	*		
	C305	*		
	C552	*		
	C650B			*
	C706			*
Grupo química G2 (mas Fe-Mg)	C122		*	
	C145	*		
	C304	*		
	C605			*
	C650A		*	
	C689	*		

Tabla 4. Clasificación de las granulometrías correspondientes a los grupos químicos de los crisoles G1 y G2.

mica que el grupo de cerámicas comunes y presenta la granulometría mas fina de todos los crisoles; el uso minoritario de arcillas típicas de cerámicas comunes para producir crisoles revela la utilización diferenciada de ambos tipos de arcilla. Para la preparación de las pasta de los crisoles se sugiere la posible adición de arenas silíceas-feldespáticas K a las mismas fuentes de arcillas usadas para la producción de cerámicas comunes; en contraste con las cerámicas comunes, las pastas de los crisoles incluyen desgrasantes mayores y mas abundantes lo que las hacen adecuadas para soportar el choque térmico de la producción metalúrgica.

IV. CONCLUSIONES

Se ha establecido la composición químico-mineralógica y características texturales de las cerámicas de crisoles.

Se ha constatado la práctica de adición de

desgrasante a las arcillas que incorporan minerales ferromagnesianos en su composición original.

En contraste con las cerámicas de uso común, las pastas de los crisoles evidencian el uso selectivo de arcillas aptas para soportar altas temperaturas.

Los “crisoles planos” han sido utilizados en procesos metalúrgicos de producción de cobres/cobres-arsenicales y se propone que fueron utilizados como recipientes de reducción, descartándose su utilización como moldes de lingotes o crisoles de fusión del metal.

BIBLIOGRAFÍA

- FUETEN, F. 1997: "A computer-controlled rotating polarizer stage for the petrographic microscope". *Computers and Geosciences* 23 (2): 203-208.
- GOODCHILD, J. S. y FUETEN, F. 1998: "Edge detection in petrographic images using the rotating polarizer stage". *Computers and Geosciences* 24 (8): 745-751
- HUNT ORTIZ, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South-West Iberian Peninsula*. British Archaeological Reports. BAR International Series 1188. Archaeopress. Oxford: 218 - 228.
- HURTADO PÉREZ, V. 2004: "El asentamiento fortificado de San Blas (Cheles, Badajoz). III milenio a. C.". *Trabajos de Prehistoria* 61, nº 1:141-155.
- HUNT, M.A.; HURTADO, V.; MONTERO, I.; ROVIRA, S. y SANTOS, J.F. 2009: "Chalcolithic metal production and provenance in the site of San Blas (Cheles, Badajoz, Spain)". *Archaeometallurgy in Europe*: 81-92
- MIDDLETON, A.P.; FREESTONE, I.C. y LEESE, M.N. 1985: "Textural analysis of thin sections: evaluation of grain sampling procedures". *Archaeometry* 27 (1): 64-74.
- OBARA, B. 2007: "Identification of transcrystalline micro-cracks observed in microscope images of dolomite structure using image analysis methods based on linear structuring element processing". *Computers & Geosciences* 33 (2): 151-158.
- POLVORINOS DEL RÍO, A. y GÓMEZ MORÓN, A. 1999: "Adaptación de un digitalizador de películas fotográficas para el análisis morfométrico de cerámicas arqueológicas". *Caesaraugusta*, 73. Actas del II Congreso Nacional de Arqueometría, Universidad de Zaragoza: 153-159.
- RODRÍGUEZ DE LA BORBOLLA C. y POLVORINOS DEL RÍO A. 2009: "Dispositivo para la automatización de la captura de imágenes de láminas delgadas de cerámicas arqueológicas".
- STARKEY, J. y SAMANTARAY, A.K. 1994: "A microcomputer-based system for quantitative petrographic analysis". *Computers & Geosciences* 20 (9): 1285-1296.
- STREETEN, A.D.F. 1982: "Current research in ceramics: thin section studies". *British Museum Occasional Paper* 32: 123-135.
- ZHOVA Y., STARKEY J. y MANSINHA J. 2004: "Segmentation of petrographic images by integrating edge detection and region growing". *Computers and Geosciences* 30: 817-831.

PÓSTERS PROSPECCION GEOFÍSICA Y TELEDETECCIÓN

APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER 3D A LA DOCUMENTACIÓN ESPACIAL DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

APPLICATION OF THE SCANNER LASER 3D TO THE SPATIAL DOCUMENTATION OF ARCHAEOLOGICAL DEPOSITS

Teresa Mostaza Pérez (1) / J. Julio Zancajo Jimeno (1) / Jorge López Quiroga (2) / Artemio Martínez Tejera (2)

(1) Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca

(2) Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid

RESUMEN: Los yacimientos arqueológicos son una importante fuente de información y forma parte de la memoria histórica que cada comunidad tiene y que, por lo tanto, debe estudiar, proteger y transmitir a las generaciones venideras.

En este ámbito, la utilización del Escáner Láser 3D constituye un equipo de toma de datos que proporciona un detalle exhaustivo sobre las formaciones encontradas, con un tiempo de toma de datos muy inferior a las técnicas tradicionales y una resolución muy superior. Esto hace de este equipo un instrumento de gran interés en la documentación espacial de los yacimientos arqueológicos.

SUMMARY: The archaeological deposits are an important source of intelligence and comprises of the historical memory that each community has and that, therefore, must study, protect and transmit to the coming generations.

In this scope, the use of the Scanner Laser 3D constitutes an equipment of taking of data that provides an exhaustive detail on the formation found, with a time of taking of data far below to the traditional techniques and a resolution very superior. This makes of this equipment an instrument of great interest in the space documentation of the archaeological deposits.

PALABRAS CLAVE: Yacimiento, escáner, documentación, espacial, métrica, modelización.

KEY WORDS: Deposit, scanner, documentation, spatial, metric, modelling.

I. INTRODUCCIÓN

Un Yacimiento o Sitio Arqueológico es un elemento patrimonial, es decir, es un bien cultural que pertenece, en última instancia, a toda la sociedad, sin perjuicio de su posesión inmediata por parte de una entidad pública o de un propietario privado, constituyendo un documento histórico de primera mano.

Los yacimientos arqueológicos son una importante fuente de información y forma parte de la memoria histórica que cada comunidad tiene y que, por lo tanto, debe estudiar, proteger y transmitir a las generaciones venideras.

En esta labor de documentación, una parte relevante es conocer las dimensiones de los elementos que, durante el proceso de excavación, son identificados, como las estructuras de habitáculos,

etc., puesto que proporcionan una información de especial relevancia sobre la forma de vida de los pobladores del lugar.

Teniendo en cuenta, además, que a veces sucede que en el mismo lugar se producen varias ocupaciones, podemos encontrar que un Yacimiento puede ser un entramado complejo que muestra la evolución del sistema socioeconómico del lugar, siendo necesario documentar adecuadamente cada una de las épocas de ocupación identificadas.

El presente Póster tiene como objetivo exponer la utilización del Escáner Láser 3D en los yacimientos arqueológicos, mostrando los resultados obtenidos en el Yacimiento de Conimbriga (Coimbra – Portugal), antigua ciudad romana localizada en la vía militar que iba de Olisipo (Lisboa) a Bracara Augusta (Braga).



Fig. 1. La imagen de la izquierda se corresponde con la nube de puntos capturada con el escáner. Una vez tratada (dcha), podemos convertir los puntos en un sólido al que aplicamos texturas de alta resolución. Podemos observar el detalle de las oquedades en la piedra.

El escáner láser es un equipo de reciente utilización que captura un gran número de puntos, lo que permite representar el más mínimo detalle, con una gran rapidez y sin causar ningún tipo de daño en el elemento que se quiere estudiar, al tratarse de un equipo de medición remota (Bravo 2005).

La iglesia de San Andrés, que aunque ha perdido su función de parroquia, es uno de los templos más singulares del románico abulense, está formada por tres naves con sus correspondientes ábsides, siendo el central de mayores proporciones y más profundo que los laterales. Iniciadas obras de restauración, aparecieron restos de interés arqueológico que se consideró necesario documentar.

II. METODOLOGÍA EMPLEADA

Analizada las circunstancias en las que se encontraban los elementos de interés, se consideró que el mejor método de documentación métrica de los restos arqueológicos aparecidos es la utilización de la tecnología correspondiente al escáner láser 3D. En concreto, se procedió al levantamiento de las zonas de interés utilizando el escáner láser Trimble GX, con el fin de tener un gran detalle métrico de los elementos de estudio. El escáner láser Trimble, se encuentra dentro de los escáneres de “tiempo de vuelo” que permiten la captura de puntos hasta una distancia de 350 m. Este sistema de medida captura, para cada punto, las coordenadas X, Y y Z, además de información sobre el color (en función de las cantidades de rojo, verde y azul, componentes del color en el sistema

RGB) el valor de la intensidad y el de la normal, que facilitan una información adicional a la posición de cada punto. Esto va a permitir la modelización métrica y radiométrica del elemento estudiado.

Para el levantamiento de las dos zonas del exterior se han tomado más de 650.000 puntos, para una superficie cifrada en aproximadamente 6 m², lo que da una idea del detalle de toma. La resolución fijada ha sido de 2 cm lo que explica la alta cantidad de puntos que conforman el levantamiento. Este grado de detalle permitirá a los expertos avanzar en el estudio y el conocimiento de este bien patrimonial.

En las mediciones realizadas en el exterior de la Iglesia de San Andrés (Ávila) podemos ver la nube de puntos (Figura 1 - izquierda), y los resultados obtenidos tras aplicar texturas fotográficas al sólido creado a partir de la nube de puntos (Figura 1 - derecha y centro). La nube de puntos nos muestra un ejemplo de la definición del elemento únicamente con puntos. En este caso como se ha realizado la captura con todas las posibilidades de este escáner, el aspecto del objeto radiado es muy real, puesto que se ha capturado las normales de sombra y se encuentran iluminadas de distinta forma las zonas vistas y las ocultas. La Figura 2 muestra la segunda zona del levantamiento realizado.

Los productos que se pueden obtener a partir de los levantamientos con el escáner láser son muy variados y pueden oscilar desde aspectos divulgativos a otros como la reconstrucción en el caso de que el objeto desapareciera (Farjas *et al.*

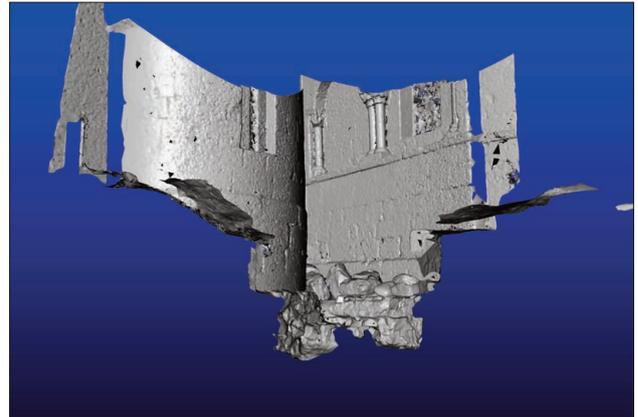
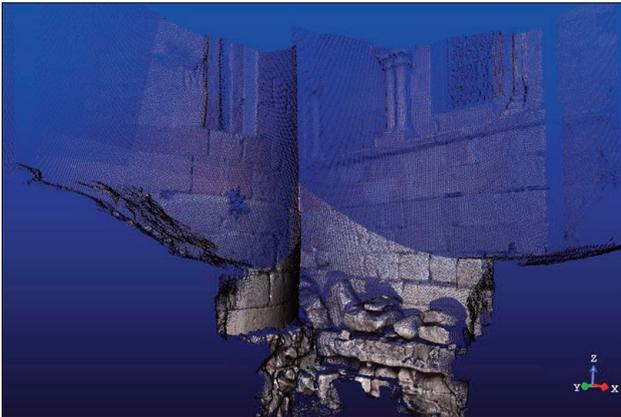


Fig. 2. Detalle del proceso seguido en la iglesia de San Andrés. Pasamos de la nube de puntos a la creación de un sólido. En este caso aún no se han aplicado las texturas que le darán una apariencia más real.

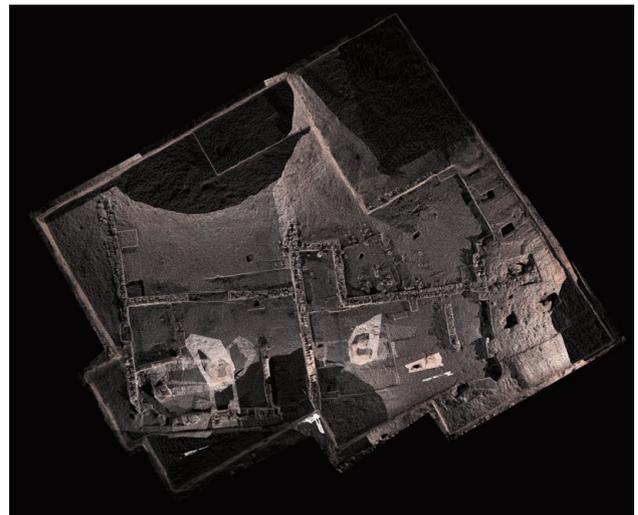
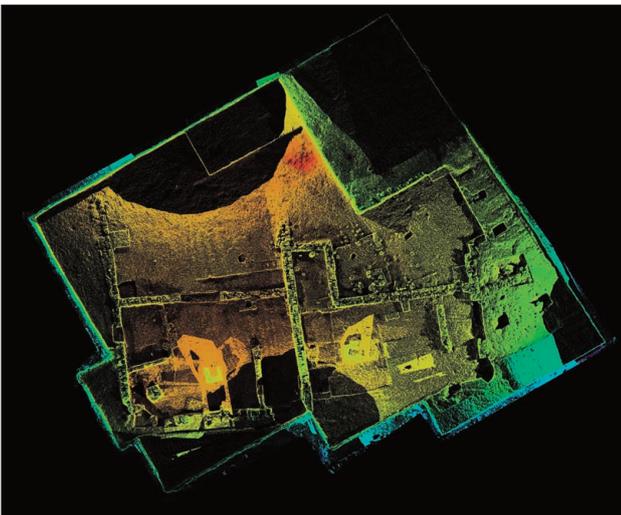


Fig. 3. Ortoimagen obtenida a partir de nube de puntos, en la que se aplica un color a diferentes profundidades en una de las excavaciones realizadas en el yacimiento de Segeda.

Fig. 4. Ortoimagen en nivel de gris. Las zonas más claras se corresponden con una mayor resolución de la toma de puntos.

2008). Uno de los aspectos a tener en cuenta dentro de todos los trabajos y estudios en cualquier actividad arqueológica es la de hacer llegar al mayor número de personas posible los resultados de la investigación. En algunos casos como información adicional en los propios yacimientos, museos, etc. y en otros casos, facilitando visitas y/o reconstrucciones virtuales. En estos casos, el aspecto más realista se logra con la creación de sólidos tridimensionales a los que se aplican las texturas obtenidas con cámaras digitales de alta resolución.

Las características de la información capturada va a facilitar la creación de ortoimágenes, sobre las que se pueden realizar mediciones (al tratarse de una proyección ortogonal), posicionar elementos nuevos que vayan apareciendo y facili-

tar la gestión posterior mediante un Sistema de Información Geográfica, entorno en el cual podremos realizar una gestión completa de la Excavación.

En la Figura 3 se muestra una ortoimagen realizada a partir de un levantamiento realizado en el yacimiento de Segeda (Mara, Zaragoza). Se puede apreciar el grado de detalle obtenido a partir del volumen de puntos radiado. Observamos las zonas tomadas con una mayor resolución (en este caso las tahonas —Figura 5— y la fragua —Figura 6— encontradas); además se puede establecer una clasificación por colores correspondiente a diferentes altitudes (morado-azul para las zonas más altas y rojo para las más bajas) o, utilizar el color verdadero para obtener un resultado más acorde a la realidad de la excavación y más próximo a la ortofotografía tradicional (Figura 4).

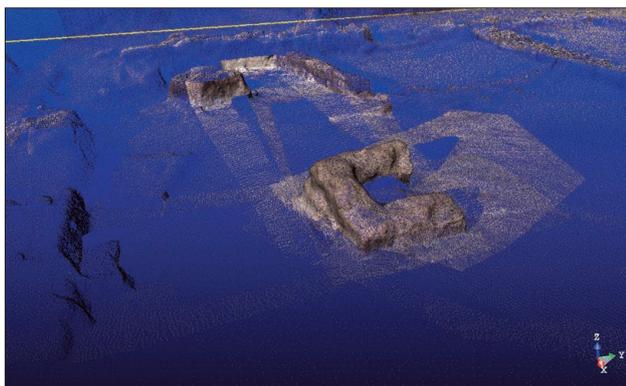


Fig. 5. Detalle de una de las tahonas encontradas en Segeda.

Una excavación arqueológica lleva aparejado un proceso largo y minucioso y, aunque se documentan las diferentes fases y los hallazgos localizados, el control métrico realizado por métodos tradicionales debe complementarse utilizando estas nuevas técnicas, puesto que es posible controlar, de una forma muy rápida, la evolución de la excavación a lo largo del tiempo.

En la Figura 7 se muestra la evolución de la excavación en una zona de la basílica paleocristiana que se localiza en el yacimiento de Conímbriga (Condeixa-a-Nova, Coímbra, Portugal).

Se realizaron 2 levantamientos de la misma zona. El primero de ellos al comienzo de la campaña, en el mes de julio. Posteriormente, una vez finalizada la excavación, en octubre se volvió a

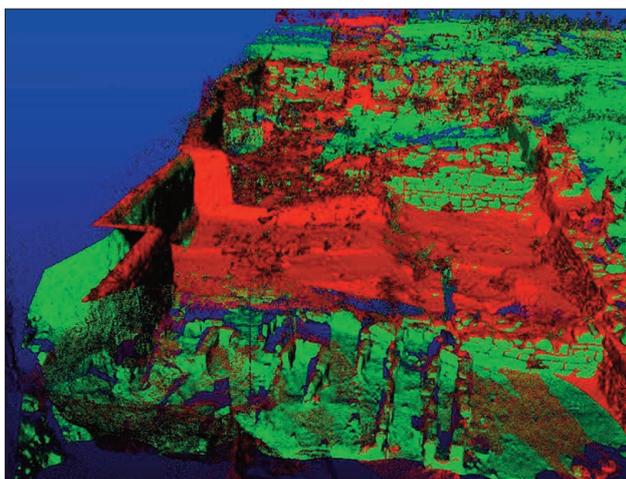


Fig. 7. Detalle de la evolución de una excavación en el tiempo.

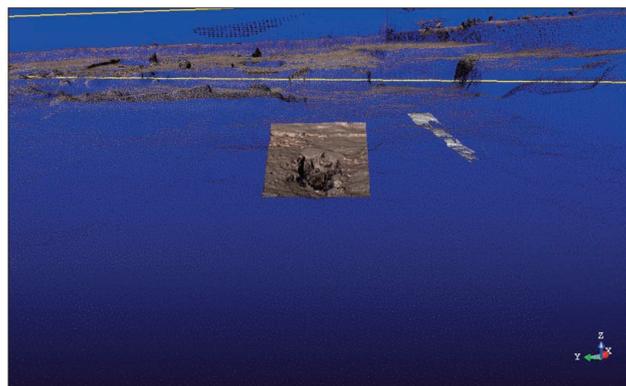


Fig. 6. El detalle del levantamiento es muy alto tal y como se puede apreciar en la fragua encontrada en Segeda. La gran cantidad de puntos tomados dan la sensación de que fuera un sólido.

realizar el trabajo con el fin de estudiar, de una forma métrica, la evolución de la excavación.

La zona en rojo se corresponde con el trabajo realizado durante el mes de julio y los puntos de color verde con los tomados en el mes de octubre. Los puntos de color rojo son muy visibles puesto que la zona correspondiente al final de la excavación tiene una cota más baja y el rojo queda, por tanto, en la parte superior.

En la zona de la izquierda (Figura 7) queda patente el retranqueo de tierras que ha tenido lugar entre ambos periodos. Es posible, por tanto alcanzar un alto grado de seguimiento en el control métrico de la excavación y además controlar el movimiento de tierras y los elementos que vayan apareciendo.

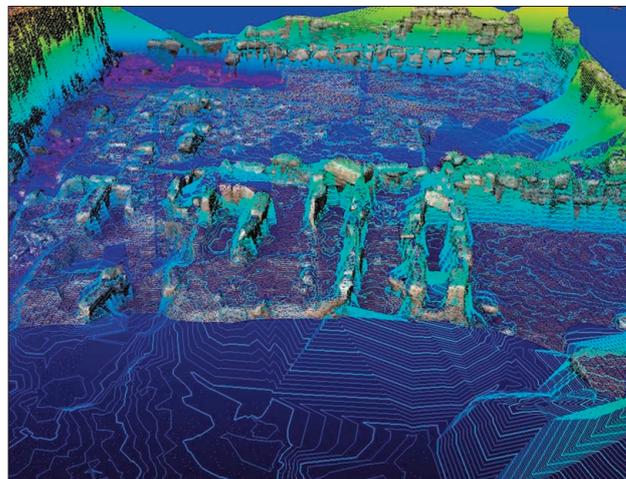


Fig. 8. A partir de la nube de puntos podemos obtener productos cartográficos tradicionales como curvas de nivel.

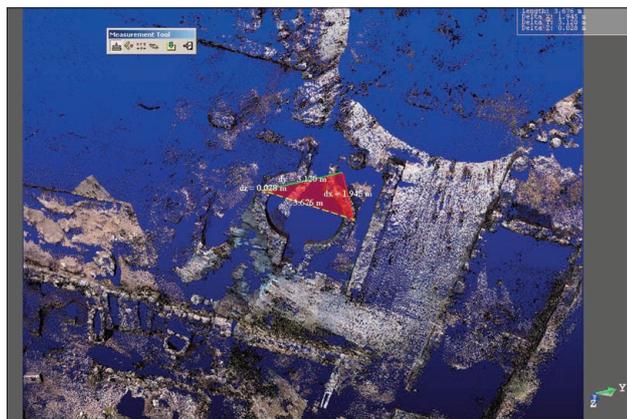


Fig. 9. La posibilidad de medir distancias reales en cualquier momento permite dar un valor añadido a la información disponible.

Una vez puesto de manifiesto las variaciones producidas, podemos calcular el volumen de tierras movidas o, el volumen y magnitudes de cualquier elemento. Estos cálculos se pueden realizar, bien con el programa de trabajo del escáner o bien exportando los puntos a un sistema CAD.

También es posible ajustar mediante cálculo automático, curvas de nivel a la nube de puntos, tal y como se ve en la Figura 8, pudiendo llevar estas geometrías a programas externos (AUTOCAD, Microstation, etc.), pudiéndose realizar multitud de operaciones posteriores. En este caso se ha superpuesto una parte de la nube de puntos al curvado y se puede observar cómo se ajustan ambos elementos. La posibilidad de realizar, en cualquier momento, mediciones entre los puntos (Figura 9) va a permitir seguir haciendo estudios, ya fuera de la excavación, de los diferentes elementos, con las posibilidades que esto trae consigo. En la Figura 10 vemos las diferencias entre la percepción que nos da una fotografía convencional y la imagen de puntos de la misma zona capturada con la tecnología láser.

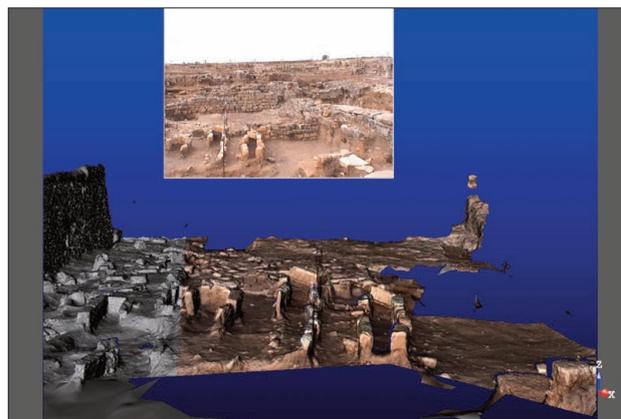


Fig. 10. Junto a los datos métricos se pueden visualizar fotografías, que sitúan los puntos en la posición de la toma fotográfica.

III. CONCLUSIONES

El sistema del escáner láser 3D *a priori* se caracteriza por la rapidez en la captura de datos. El proceso de la captura de datos se ha reducido a uno o dos días como máximo, en cada uno de los levantamientos realizados. En el caso de no haber dispuesto de este equipo, el trabajo de campo hubiera llevado muchos más días y, en ningún caso hubiéramos alcanzado el nivel de detalle conseguido.

A partir de la nube de puntos es posible realizar diferentes operaciones con los datos que facilitan la obtención de diferentes productos (sólidos, ortofotografías, curvados,...). Es destacable el largo proceso de gabinete necesario para conseguir estos productos que se contrapone con el punto anterior.

Es muy interesante la utilización de este equipo para registrar la evolución de un yacimiento, puesto que se puede cuantificar desde el volumen de tierra movido hasta la posición espacial exacta de los hallazgos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO RODRIGUEZ, M.; LOPEZ MAZO, A.; FARJAS ABADÍA, M. y AYORA BAENA, F. 2002: "Levantamiento de la cúpula de la Basílica del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial. Aplicación experimental de la estación total de lectura directa". *Topografía y Cartografía. Volumen XIX, Mayo-Junio 2002*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid: 19-33.
- BARBER D.; MILLS, J. y BRYAN, P. 2004: *Towards A Standard Specification For Terrestrial Laser Scanning In Cultural Heritage*. ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Estambul. Commission V, WG V/2.
- BRAVO RIBÓ, A. 2005: *Topografía de Alta Definición-HDS aplicaciones y entregas leica tour'05*. Internet, http://www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id_articulo=1052&u_Search=acre
- DEMIR, N.; BAYRAM, B.; ALKIŞ, Z.; HELVACI, C.; ÇETIN, I.; VÖGTLE, T.; RINGLE, K. y STEINLE E. 2004: *Laser Scanning For Terrestrial Photogrammetry, Alternative System Or Combined With Traditional System?*. ISPRS(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Commission V, WG V/2. Estambul.
- FARJAS, M. y GARCÍA-LÁZARO, F. J. 2008: *Modelización Tridimensional y Sistemas Laser Escaner aplicados al Patrimonio Histórico*. La Ergástula (Ed.).Madrid, Spain.
- FARJAS, M. 2007: *El registro en los objetos arqueológicos: Métrica y Divulgación*. Reyferr, Madrid.
- FARJAS, M. 2006: *Aulaweb. Topografía II. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica*. UPM.
- FARJAS, M. y SARDIÑA, C. 2003: "Novedades Técnicas: Presentación del equipo Cyrax 2500 de Leica Geosystem". *Topografía y Cartografía*. Volumen XX, Número 116. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid: 70-71.
- FARJAS, M. 2003: "Las Ciencias cartográficas en la arqueología: la búsqueda de la métrica en los modelos de divulgación científica". *DATUM XXI 3*: 4-12.
- KERSTEN, T.; STERNBERG, H. y MECHELKE K. 2005: *Investigations into the accuracy behavior of the terrestrial laser scanning system Mensi GS 100*. Optical 3-D Measurement Techniques VII, Gruen/Kahmen (Ed.). Vol. I. Vienna: 122-131.
- KERSTEN, T. y STERNBERG, H. 2007: "Comparison of terrestrial laser scanning systems in industrial as-built-documentation applications". *Optical 3-D Measurement Techniques VIII*, Gruen/Kahmen (Ed.). Vol. I.Zurich. July 9-12. 2007: 389-397.
- KERSTEN, T.; STERNBERG, H. y STIEMER, E. 2005: "First experiences with terrestrial laser scanning for indoor cultural heritage applications using two different scanning systems". *IAPRS*, Vol. XXXVI, Part 5/W8, Editors R. Reulke & U. Knauer, Proceedings of the ISPRS working group V/5 "Panoramic Photogrammetry Workshop", Berlin, Germany, February 24-25.
- STERNBERG, H. 2006: *Deformation measurements at historical buildings with the help of three-dimensional recording methods and two-dimensional surface evaluations*. 3rd IAG /12 th FIG Symposium, Baden, May 22-24.
- STERNBERG, H. 2006: *Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laserscanners*. IAPRS Volume XXXVI, Part 5, Commission V, WG V/3, Dresden 25-27 September 2006.

ELABORACIÓN DE UN NUEVO CALCO DEL CÁPRIDO DE LA SALA DE LA HOYA (CUEVA DE ALTAMIRA) MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE IMAGEN

A NEW TRACING OF THE GOAT OF SALA DE LA HOYA (ALTAMIRA CAVE) BY MEANS OF IMAGE ANALYSIS TECHNIQUES

Miguel Ángel Rogerio-Candelera (1) / Javier Élez Villar (2)

(1) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

(2) Geomnía S.L.

RESUMEN: Las técnicas empleadas en los primeros tiempos de la investigación para reproducir motivos de arte rupestre favorecieron la publicación de calcos no totalmente ajustados a la realidad que, a veces, son el único testimonio que permanece de representaciones rupestres hoy en día desaparecidas o semiocultas por capas de suciedad o espeleotemas. El cáprido del panel de la Sala de la Hoya, en la cueva de Altamira, es una de estas representaciones parietales cuyo calco más reciente es el publicado por Breuil y Obermaier en 1935, que en la actualidad está casi totalmente recubierta por una capa de aragonito que se desarrolla a favor de los trazos.

Para elaborar un nuevo calco con métodos no invasivos, se precisaba de la utilización de técnicas de registro indirecto que permitieran eludir la influencia de la capa de aragonito. Para ello, se ha utilizado una estrategia enfocada a la descorrelación de imágenes por medio de análisis de Componentes Principales y la aplicación de un algoritmo de clasificación digital supervisada de la imagen. Los resultados obtenidos se vectorizaron automáticamente para elaborar un calco compatible con sistemas de información geográfica y poder representarlos tridimensionalmente.

SUMMARY: The recording techniques employed in the first times of research favored the publication of tracings not completely fitted to the reality which, sometimes, constitute the only remaining evidence of parietal paintings faded or concealed by dust layers or speleothems. The goat of Sala de la Hoya, in Altamira cave, is one of these rock paintings, whose more recent tracing is that published by Breuil and Obermaier in 1935, nowadays almost completely covered by a thin aragonite layer which follows the painted lines.

In order to elaborate a new tracing employing non-invasive methods, indirect recording techniques, which allowed eluding the influence of the aragonite layer, was necessary. For that purpose, an approach focused on image uncorrelation by means of Principal Component Analysis and the application of a supervised digital image classification algorithm was performed. Results were auto-traced, in order to create a replica compatible with Geographic information systems to represent them in 3D.

PALABRAS CLAVE: Análisis de imagen, cueva de Altamira, calcos, Análisis de Componentes Principales, arte rupestre.

KEY WORDS: Image analysis, Altamira Cave, tracings, Principal Component Analysis, rock art.

I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas tradicionales para la elaboración de calcos de motivos de arte rupestre presentan una serie de limitaciones, tanto desde el punto de vista de la reproducción de los motivos como para la propia conservación de los mismos. Estas últimas vienen dadas por su carácter invasivo (Rogerio-Candelera 2009b). Entre las limitaciones de estas técnicas para la reproducción de motivos está la falta de consistencia geométrica de los resultados (si se trata de calcos directos sobre su-

perficie transparente, puesto que se despliega sobre una superficie plana lo que en origen estaba sobre una superficie irregular), o la posible subjetividad en la representación del motivo rupestre cuando se trata de un dibujo a mano alzada, sobre todo en motivos difícilmente visibles (Rogerio-Candelera 2009a; b).

La dinámica interna del sistema natural en el que se encuadran, la desestabilización del mismo, o las acciones antropogénicas de todo tipo, entre las que pueden contarse las posibles erosio-

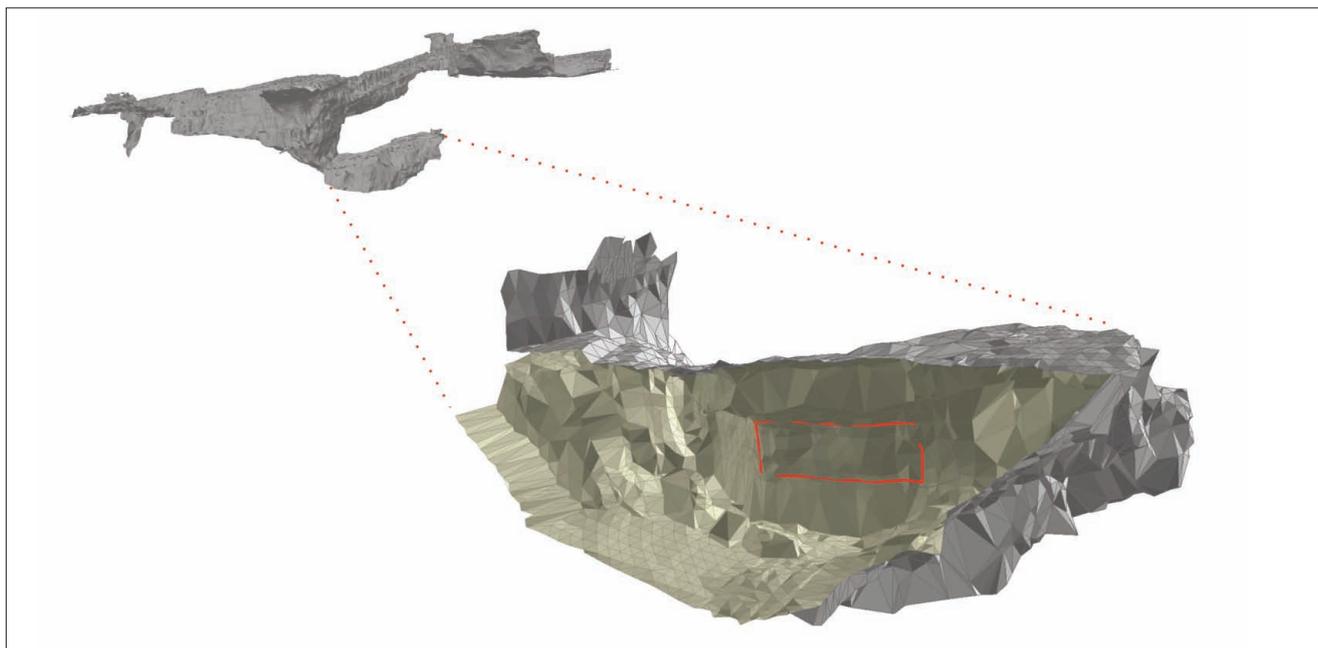


Fig. 1. Modelo 3D de la cueva de Altamira, y detalle de la sala de La Hoya, con la localización de las pinturas.

nes o agresiones sufridas por los motivos rupestres en el acto de su documentación por métodos directos, hacen que, demasiado a menudo, los motivos rupestres originales hayan desaparecido o estén prácticamente ocultos bajo capas de suciedad, biopelículas o espeleotemas de nueva formación. En estos casos, los calcos elaborados siguiendo los métodos tradicionales pueden llegar a ser el único registro conservado de los motivos parietales. Si una buena documentación de los motivos rupestres recién descubiertos es esencial, para los motivos ya registrados con métodos tradicionales la revisión de sus calcos con técnicas que permitan respetar la forma y las relaciones geométricas de los motivos sin incidir negativamente en su conservación se convierte en una tarea crítica, sobre todo en las localizaciones con arte rupestre especialmente sensibles a la degradación. Entre estas, deben incluirse las que están en cuevas, sistemas de moderada a baja energía que se caracterizan por una baja oscilación termo-higrométrica, una mínima exposición a la intemperie y ser medios oligotróficos sin luz, lo que las convierte en ambientes extremadamente frágiles (Sánchez-Moral *et al.* 2008; Sánchez-Moral y Cañaveras 2009).

En este trabajo se ha acometido la revisión de un calco publicado en las primeras etapas de la

investigación arqueológica sobre el arte rupestre de la cueva de Altamira (Breuil y Obermaier 1935), utilizando una metodología de trabajo basada en el análisis de imagen desde un enfoque que hemos denominado en otros lugares analítico por contraposición a las técnicas de retoque fotográfico que habitualmente se vienen utilizando para estos fines (Rogerio-Candelera 2009a; c).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Objeto de estudio

En este trabajo se revisa el calco de un panel pictórico situado la Sala de La Hoya, en la Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), con especial referencia a una figura caprina de difícil observación hoy día por hallarse semioculta por el desarrollo de espeleotemas. La Cueva de Altamira, declarada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1985, es ampliamente conocida y existe gran cantidad de bibliografía sobre la misma, por lo que cualquier descripción que aventuráramos aquí sería ociosa. Para una completa visión de la cavidad puede consultarse la reciente monografía editada al respecto por J.A. Lasheras (2002).

La Sala de la Hoya es una cavidad situada junto a la Gran Sala, a la que se accede descen-



Fig. 2. Serie de fotografías que abarca los diferentes elementos del panel objeto de estudio. Diferente escala.

diendo una ligera pendiente (Figura 1). El panel se sitúa en el muro de la izquierda y comprende la representación de tres íbices pintados en negro separados por la cabeza de una cierva, que se atribuyen al Magdaleniense inferior. Se cuenta con una fecha radiocarbónica para la cabeza de la cierva: 15.050 ± 180 BP (Gif-A 96062), que abona esta cronología (Montes *et al.* 2004). La figura sobre la que este trabajo incide especialmente por la dificultad de su calco, es la situada más hacia la izquierda en el panel. Esta figura caprina se separa de las otras dos por la cabeza incompleta de una cierva, para cuya finalización se aprovechó la topografía natural de la roca soporte. La cabra mira hacia la izquierda, mientras el resto de las figuras del panel lo hace a la derecha (Figura 2). Esta figura experimenta en la actualidad un ocultamiento parcial debido a la formación de una capa de aragonito que se desarrolla a favor de los trazos. Esta disposición del espeleotema neoforado sobre los trazos negros es un argumento a favor de su origen biogénico (Sánchez-Moral *et al.* 2002). Así, el carbono orgánico de los trazos sería utilizado por un consorcio de microorganismos como fuente de carbono para desarrollar su ciclo vital, que inducirían o facilitarían la precipitación del carbonato cálcico mediante un proceso o conjunto de procesos que no son extraños en ambientes subterráneos (Sánchez-Moral *et al.* 2003) ni en superficie (Fortin *et al.* 1997).

Análisis de imagen

A partir de fotografías digitales estándares de los motivos rupestres, y de fotografía digital con

iluminación ultravioleta (400 nm) que permite registrar en la región visible del espectro la fluorescencia inducida en los materiales por la excitación con esta longitud de onda, se ha aplicado una estrategia de descorrelación de los valores de los niveles digitales de las imágenes utilizando Análisis de Componentes Principales. Las imágenes se capturaron con una cámara digital reflex Canon EOS 30D y una cámara digital estándar Canon PowerShot A630. La iluminación en el intervalo de longitudes de onda del visible se obtuvo mediante el empleo de dos fuentes LitePad DL de 6"x3", 900 lux 6000°K (Rosco Laboratories Inc, Estados Unidos). La iluminación ultravioleta se consiguió con una lámpara fluorescente de emisión ultravioleta de 400 nm mediante filtro de Cristal de Wood (Omni-Lux Lighting LLC, Estados Unidos). Para el análisis de Componentes Principales se empleó el software HyperCube v. 8.5.1 (Army Geospatial Centre, Estados Unidos). Con este tratamiento se ha perseguido destacar los elementos minoritarios en la imagen, en particular los trazos prácticamente ocultos de la pintura rupestre, de cara a mejorar su visualización. Este enfoque ha sido aplicado con éxito por nosotros a diversas manifestaciones parietales con anterioridad (Portillo *et al.* 2008; Rogerio-Candelera 2008¹; Rogerio-Candelera *et al.* 2008; 2009a; b; c) y consiste en esencia en la obtención de combinaciones lineales de las distintas bandas de manera que se representan sobre un nuevo sistema de referencia de ejes perpendiculares entre sí, o, en otras palabras, totalmente descorrelacionados. Así, las bandas obtenidas mediante la representación en este nuevo sistema de referencia explican cantidades cada vez meno-

¹ ROGERIO-CANDELERA, M.A. 2008: *Una propuesta no invasiva para la documentación integral del arte rupestre*. Trabajo de Investigación, Universidad de Sevilla.

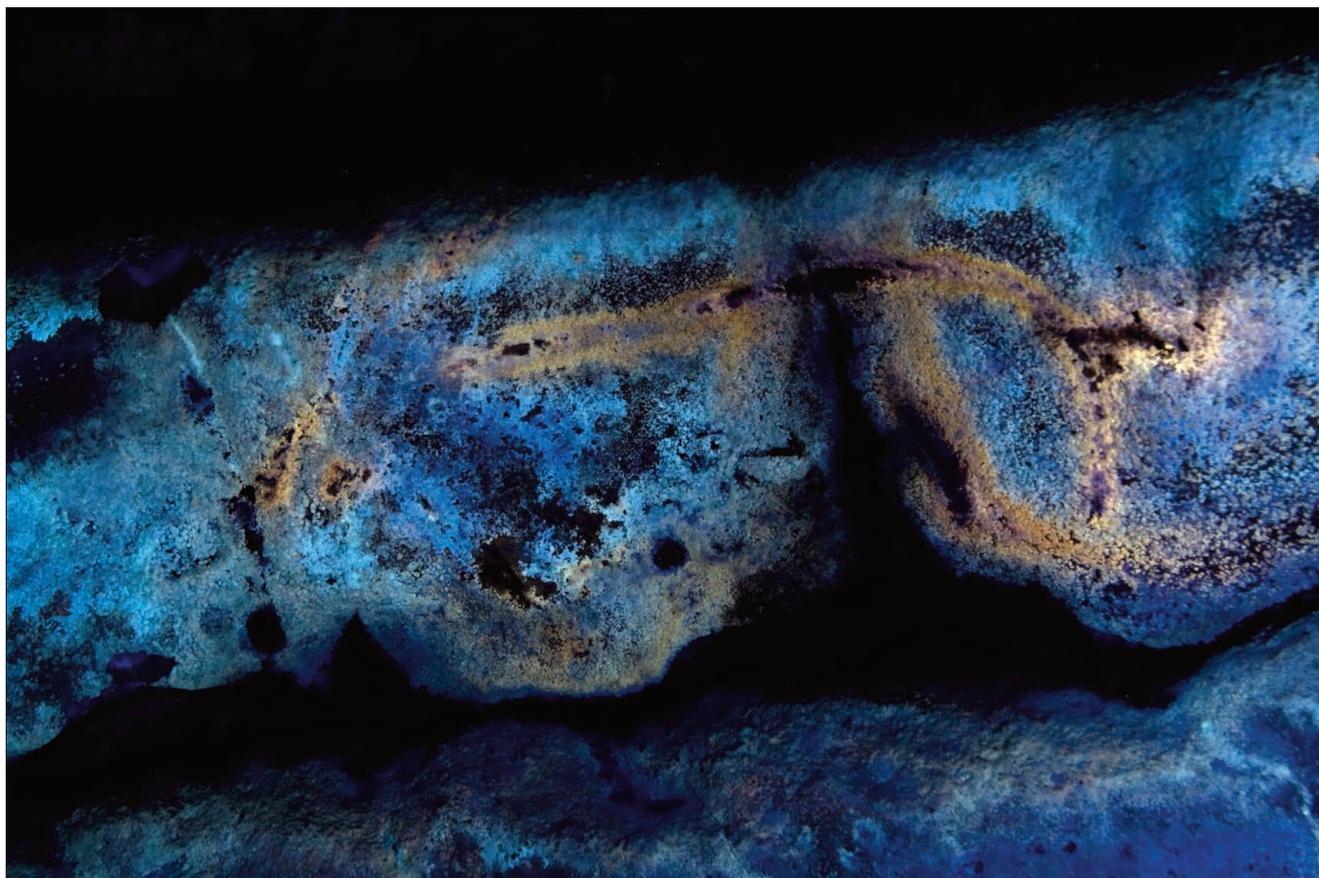


Fig. 3. Imagen de fluorescencia inducida por ultravioleta que destaca las concreciones que cubren la figura de la cabra.

res de la covariación entre los valores. El porcentaje de varianza explicada por cada nueva banda viene dado por su autovalor, que es el módulo del autovector que, a su vez, define cada una de las componentes. En imágenes con un alto grado de correlación visual, la mayor parte de la información recogida en la misma aparecerá en la banda correspondiente a la primera Componente Principal. Las siguientes bandas, que corresponden a las siguientes Componentes Principales, reflejarán un porcentaje de información mucho menor, decreciendo en cada una de ellas. El número máximo de Componentes Principales a obtener coincidirá siempre con el número de bandas con que contamos en la imagen original. En el caso de las imágenes fotográficas estándares (espacio de color RGB), contaremos con tres bandas, que corresponden cada una a la reflectividad de los materiales en los intervalos de longitud de onda (λ) comprendidos entre los 400-500, 500-600 y 600-700 nm, por lo tanto tendremos tres Componentes Principales para cada imagen. Sin embargo, la utilización de una fuente de iluminación distinta, como es la ul-

travioleta (en este caso, de $\lambda=400$ nm), permite inducir fluorescencia en determinados materiales. Así, el aragonito que cubre algunos trazos de la cabra de la izquierda, presenta un comportamiento diferencial con respecto a la roca soporte, dando tonos de color crema (Figura 3). Este comportamiento diferencial, reflejado en imágenes de tres bandas de visible, puede combinarse con las imágenes de visible para constituir cubos de varias bandas, que pueden ser luego tratadas mediante Análisis de Componentes Principales.

Además de esta estrategia de descorrelación se ha utilizado puntualmente el álgebra de imágenes, y se han elaborado imágenes en falso color como ayuda para la visualización de algunos elementos muy enmascarados. Estas operaciones se han realizado utilizando el mismo paquete de software citado más arriba.

Las imágenes resultantes han sido, además, clasificadas, para poder seleccionar la clase más relevante en función de los objetivos del trabajo. La

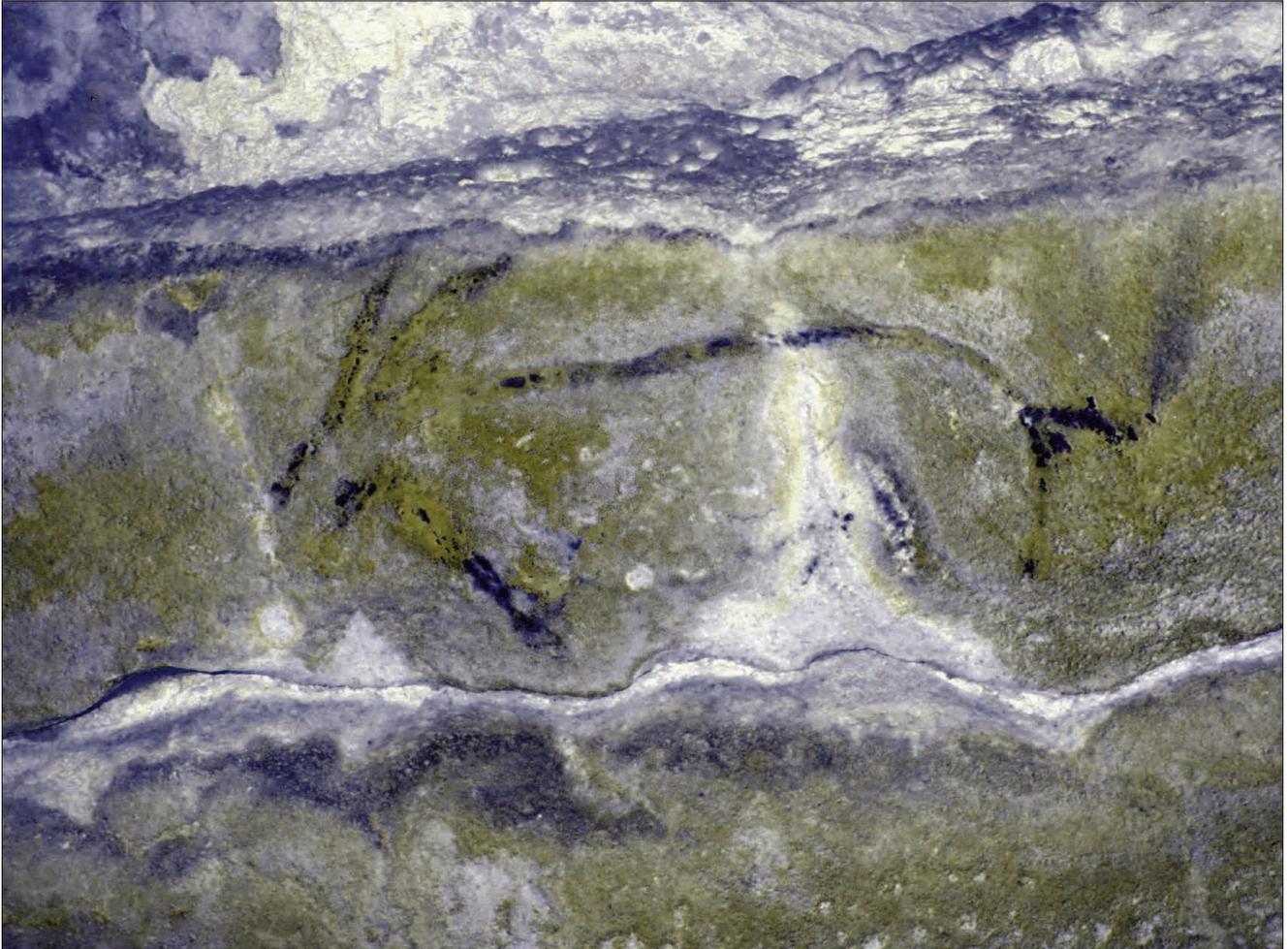


Fig. 4. Imagen en falso color elaborada a partir de las segundas Componentes Principales.

aproximación utilizada para la clasificación ha sido de naturaleza fotointerpretativa, es decir, se ha efectuado una clasificación supervisada en función del reconocimiento previo de trazos pictóricos. La clasificación efectuada ha sido de un tipo sencillo, binarizando la imagen a partir de unos intervalos de niveles de gris seleccionados mediante la observación de transectos de la imagen que contenían la cubierta de interés. Para estas operaciones se ha utilizado el paquete de software *ImageJ* v. 1.41o (*National Institutes of Health*, Estados Unidos).

Las imágenes binarias obtenidas mediante la utilización de estas técnicas de análisis de imagen, de naturaleza matricial, se transformaron a imágenes de tipo vectorial con ayuda de la utilidad *Corel Trace*, inserta en el paquete de software *CorelDRAW Graphic Suite X3* (*Corel Corporation*, Canadá). Con ello se pretende facilitar la implementación de sistemas de gestión de datos con componente espacial para la elaboración de

estrategias efectivas de conservación de las pinturas. El panel, así, figura a figura, o como conjunto, puede formar parte de cubiertas vectoriales (*coverages*) fácilmente integrables y que no desconcontextualizan el calco de su entorno físico.

Las imágenes vectoriales se han integrado en el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la cueva, construido a partir de la topografía de alta resolución realizada por el Instituto Geográfico Nacional mediante la creación de mallas de triángulos tipo TIN (*Triangulated Irregular Networks*) calculadas a partir del algoritmo de Delaunay. Para ello se empleó el software *ArcGIS* versión 9.2. El MDE se obtiene a partir de medición con una estación Laser y tiene una equidistancia aproximada de 25 cm y precisión centimétrica (Pascual Sanz *et al.* 2002). Para la construcción del modelo visual final, primero se extrajo el sector de topografía necesario que representa la pared en la que se encuentran las figuras a estudio, esto elimina gran parte

de la carga informática de datos. Este fragmento de la topografía se rota en el espacio para que el conjunto quede lo mas paralelo posible al eje XY. Esto se hace para simplificar el proceso de integración de las imágenes vectoriales. Sobre este fragmento ya editado georreferenciamos en planta las imágenes vectoriales y por último se tapiza (*drape*) el TIN con estas imágenes. Mediante prueba y error se eligen los parámetros de renderizado que mejor se adaptan a este caso para obtener una buena visualización 3D final.

III. RESULTADOS

El cáprido de la izquierda del panel

Como se ha comentado más arriba, se trata de la figura más difícil de percibir en el panel. Los trazos, pintados en negro, más que verse se intuyen bajo una capa de aragonito que los cubre (Figura 2A). El resultado de la descorrelación de las imágenes mostraba que la segunda Componente

Principal era la que mejor revelaba la capa pictórica, tanto si el análisis se realizaba por el método de la matriz de covarianzas como por el método de la matriz de correlación, aunque presentando pequeñas diferencias en la visualización de los datos, que deben explicarse por las distintas características de estas matrices de datos. Así, una primera aproximación consistió en la elaboración de una imagen en falso color utilizando las segundas componentes principales (Figura 4), que permitía destacar bastante la pintura, mejorando la visualización si bien la cantidad de píxeles “de borde”, es decir, píxeles que podían pertenecer a más de una clase (Montero Ruiz *et al.* 1998: 166) era excesiva para poder clasificar la imagen con garantías de éxito. Para ampliar la resolución espectral de las imágenes de síntesis que se manejaban, pareció aconsejable contar con la información adicional que podía aportar la iluminación con longitudes de onda determinadas. Así, como ya se comentó en el apartado anterior, se iluminó el panel con ultravioleta y se captó una imagen de fluorescencia inducida (Figura 3). Esta imagen re-

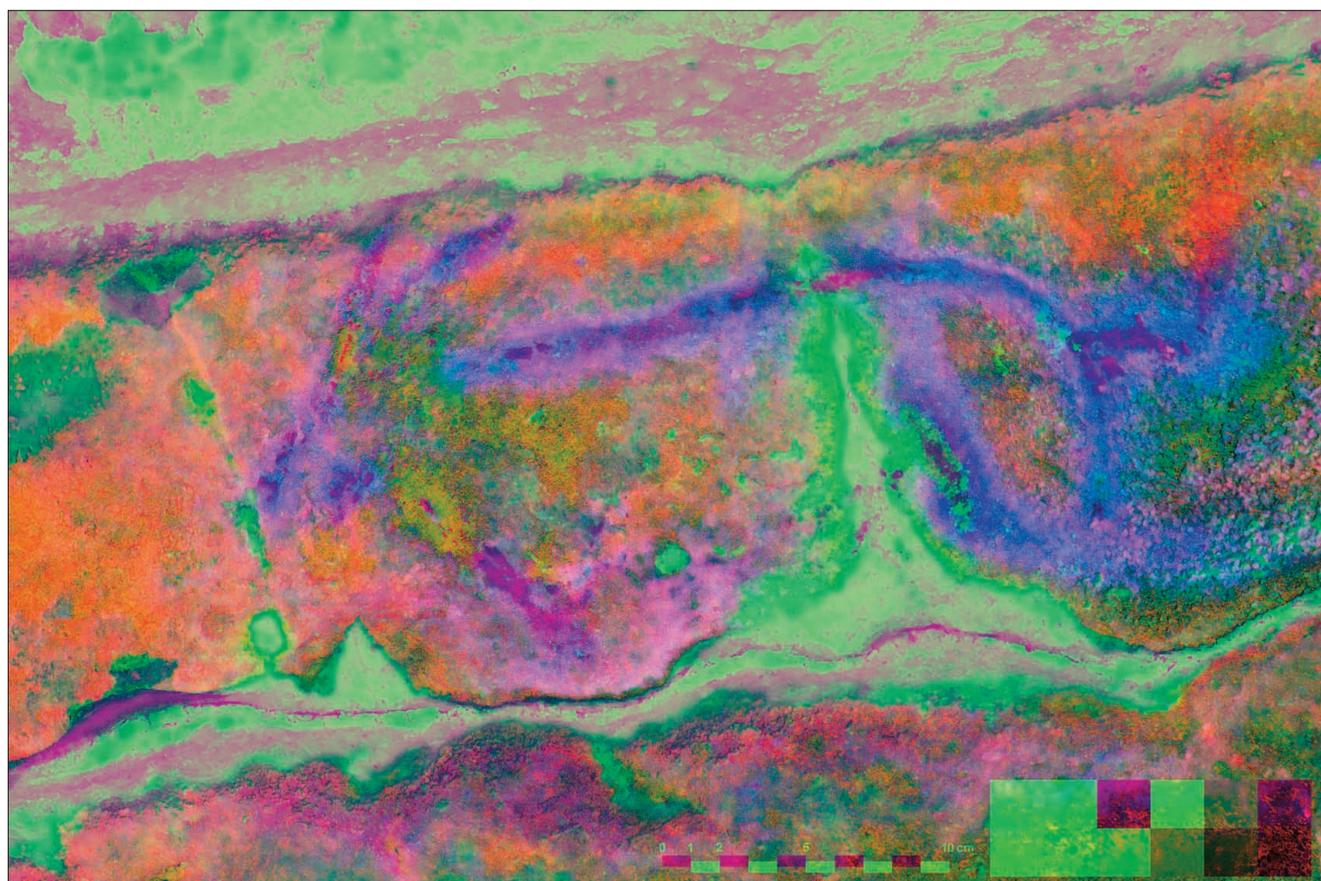


Fig. 5. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP minoritarias de visible y fluorescencia inducida por UV.



Fig. 6. Calco vectorial de la cabra de la zona izquierda del panel de la Sala de La Hoya.

gistra la emisión en el intervalo de longitudes de onda del visible en modo RGB, por lo que contábamos con otras tres bandas con las que trabajar. Al someter a esta nueva imagen a análisis de Componentes Principales, encontramos que, de nuevo, las bandas correspondientes a la segunda y tercera CPs eran las más pertinentes para obtener información referida a la capa pictórica. Por esta razón, se utilizaron, combinadas con una banda obtenida por PCA de imágenes de visible, para elaborar una imagen en falso color que permitió la vectorización de la capa pictórica (Figura 5). Esta imagen, además de destacar claramente la pintura y hacer posible la clasificación, sirvió para advertir que las concreciones que cubren la figura presentan comportamientos ópticos diferenciados cuyo significado podrá clarificarse mediante toma de muestras de estas concreciones para su caracterización.

A partir de la imagen de la Figura 5, se realizó una clasificación supervisada sencilla, seleccionando los intervalos de píxeles pertinentes para

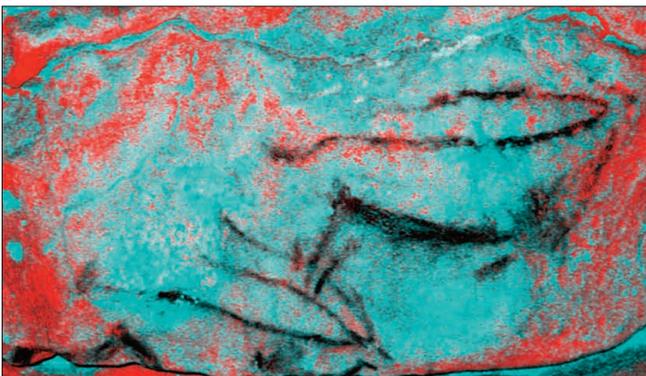


Fig. 8. Imagen en falso color a partir de las CP minoritarias de las cabras (izquierda) y calco vectorial elaborado a partir de ella (derecha).



Fig. 7. Calco vectorial de la cierva de la zona central del panel pictórico de la Sala de la Hoya.

elaborar una imagen binaria en la que figuraba en negro la clase pintura y en blanco todo lo demás. Esta cubierta se vectorizó automáticamente (Figura 6) para poder tratarla, en estudios posteriores, como una cubierta vectorial (*coverage*) fácilmente gestionable mediante Sistemas de Información Geográfica.

Resto de figuras

Para la figura de la cierva, la simple descorrelación de bandas mediante análisis de Componentes Principales permitió obtener una buena visión de la capa pictórica, que se binarizó fácilmente a partir de la banda correspondiente a la primera Componente Principal y posteriormente se vectorizó (Figura 7), consiguiéndose con relativamente poco esfuerzo la elaboración de un calco vectorial ajustado.

Las dos figuras de cabras situadas en el área derecha del panel presentaban mayores dificultades que la cierva para elaborar su calco. Después de someter a las imágenes a análisis de Componentes Principales, fué necesario elaborar una



imagen en falso color a partir de las Componentes Principales minoritarias. El resultado permitió minimizar la aparición de píxeles de borde, facilitando su clasificación para aislar la cubierta correspondiente a pintura. La imagen clasificada fue, de nuevo, vectorizada automáticamente como en el resto de las figuras del panel (Figura 8).

Los diferentes calcos vectoriales elaborados en este trabajo, una vez escalados, se ajustaron sobre el Modelo Digital de Elevaciones del que se ha dado cuenta, permitiéndose la comparación de los resultados con el único calco disponible hasta ahora del panel.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La elaboración de calcos de arte rupestre por medios tradicionales supone la introducción de unos márgenes poco controlables de subjetividad en una parte primordial de la investigación científica como es la fase de obtención de datos (Rogerio-Candelera 2009b). En el caso del panel de la sala de La Hoya, los calcos se elaboraron mediante dibujo a mano alzada, razón por la que cobra especial importancia la posición del dibujante con respecto a las diferentes figuras del panel, así como la visibilidad del mismo.

La Figura 9 compara el calco de Breuil y Obermaier (1935) con los que hemos obtenido en este trabajo. De la observación de esta figura y desde el conocimiento de la sala en la que se sitúa el panel podemos extraer como conclusión que los investigadores que realizaron el primer calco tuvieron necesariamente que utilizar varios puntos de vista ya que la sala no permite la observación al mismo tiempo de todos los motivos. El punto de vista utilizado para la visualización del modelo 3D se sitúa fuera de la sala, dentro de la roca encajante, un lugar al que estos investigadores no pudieron, lógicamente, acceder. De esta falta de un punto de vista común se coligen las diferencias geométricas entre un calco y otro. En particular, la figura de la cierva presenta las mayores deformaciones, probablemente por haber sido dibujada desde un punto de vista más bajo que la figura (posición sentada del dibujante). También de esta carencia de un punto de vista de conjunto puede provenir la diferente composición del panel en los dos calcos, que para los autores del primero es horizontal mientras que para nosotros tiene una disposición claramente diagonal.

Dejando a un lado las diferencias geométricas entre los calcos, llama la atención la falta de detalle de la figura de la cabra en el calco de

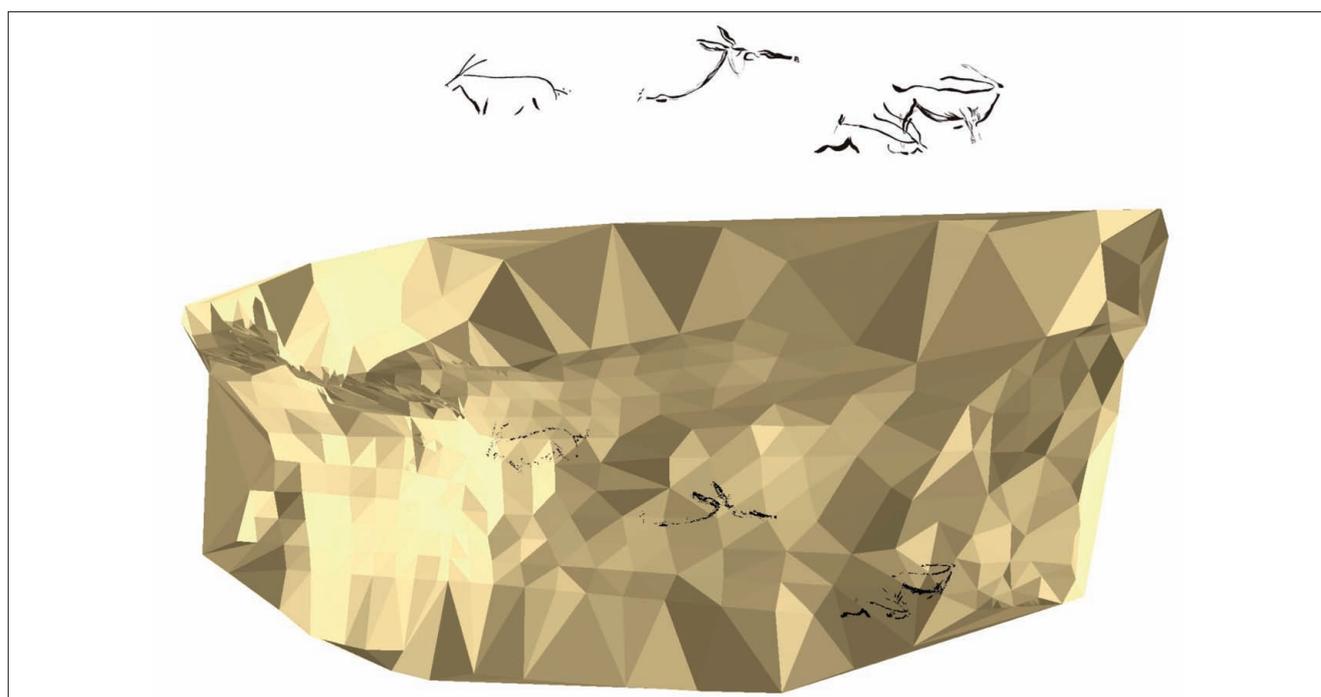


Fig. 9. Calco de Breuil y Obermaier (1935) (arriba) y calco elaborado en este trabajo superpuesto al MDE de la cueva (abajo).

principios del siglo XX con respecto a las demás figuras del panel. Creemos que esta falta de detalle, que puede apreciarse en la ausencia en el calco de algunos elementos efectivamente presentes en las figuras, como la oreja o las diferencias en el tratamiento de las cuernas, puede deberse a la dificultad que ya encontraron estos autores para observar claramente la cabra en el momento de realizar su calco, que probablemente ya entonces estuviera cubierta de gran parte de las concreciones que permanecen hoy día sobre ella dificultando su contemplación.

Además de permitir la elaboración de un calco más ajustado a la realidad del panel, la aplicación de técnicas de análisis de imagen ha permitido obtener otra información, relevante para la conservación de las figuras, como es la presencia de cuatro diferentes comportamientos ópticos de las concreciones, que en la imagen en falso color aparecen como azulado, violeta, verde claro y verde oscuro, mientras que a simple vista sólo se perciben dos: blancas y amarillentas. Creemos que esta diferencia en la respuesta óptica de los materiales debe tener que ver con su estructura y/o composición, por lo que una adecuada caracterización de estas cubiertas puede añadir información muy relevante para comprender los procesos tafonómicos experimentados por esta figura y elaborar modelos predictivos a partir de estos datos.

Como conclusión final de este trabajo ha de remarcarse que los datos y resultados obtenidos han sido producto de una metodología no invasiva, que no ha necesitado ni contacto con el panel ni prolongadas estancias junto al mismo, minimizando la posible afección que pudiera incidir en su conservación. El uso de metodologías basadas en el análisis de imagen para la documentación de bienes culturales cuya conservación recae en un equilibrio microambiental tan delicado como es el arte rupestre en cuevas se convierte en fundamental. Desde un punto de vista conservacionista, la documentación utilizando las técnicas tradicionales no puede justificarse desde que existe la posibilidad de aplicar técnicas no invasivas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos” (CSIC PIE 200440E327), “Programa de investigación en Tecnologías para la Valoración y Conservación del Patrimonio” (CONSOLIDER CSD2007-00058) y a la subvención del Ministerio de Cultura al Consejo Superior de Investigaciones Científicas para el estudio de la cueva de Altamira.

BIBLIOGRAFÍA

- BREUIL, H. y OBERMAIER, H. 1935: *La Cueva de Altamira en Santillana del Mar*. Nueva Edición publicada por la Junta de Cuevas de Altamira, The Hispanic Society of America y la Academia de la Historia. Madrid.
- FORTIN, D.; FERRIS, F.G. y BEVERIDGE, T.J. 1997: "Surface-mediated mineral development by bacteria". En J.F. Banfield y K.H. Nealson (eds.): *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*. Mineralogical Society of America. Washington: 161-180.
- LASHERAS, J.A. (ed.) 2002: *Redescubrir Altamira*. Turner. Madrid.
- MONTERO RUIZ, I.; RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L.; VICENT GARCÍA, J.M. y CRUZ BERROCAL, M. 1998: "Técnicas digitales para la elaboración de calcos de arte rupestre". *Trabajos de Prehistoria* 55 (1): 155-169.
- MONTES, R.; MUÑOZ, E.; LASHERAS, J.A.; DE LAS HERAS, C.; RASINES, P. y FATÁS, P. 2004: "The association between deer and ibex in early/middle Magdalenian Cave Art in the central sector of Cantabrian Spain: New discoveries and some interpretations". *New discoveries, new interpretations, new research methods, XXI Valcamonica Symposium, 8-14 September 2004*. Capo di Ponte. Edizioni del Centro: 365-370.
- PASCUAL SANZ, F.; MAÑERO GARCÍA, A.; DE JOSÉ FERNÁNDEZ, J. y PIÑA PATÓN, B. 2002: "Topografía y fotogrametría de la cueva de Altamira". En J.A. Lasheras (ed.): *Redescubrir Altamira*. Turner. Madrid: 259-271.
- PORTILLO, M.C.; ROGERIO-CANDELER, M.A.; GONZALEZ, J.M. y SAIJ-JIMENEZ, C. 2008: "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)". En S. Rovira Llorens, M. García-Heras, M. Gener Moret e I. Montero Ruiz (eds.): *Actas. VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Instituto de Historia (CSIC). Madrid: 97-107.
- ROGERIO-CANDELER, M.A. 2009a: "Análisis de imagen y documentación integral del arte rupestre: una propuesta de futuro". En R. Cruz-Auñón Briones y E. Ferrer Albelda (eds.): *Estudios de Prehistoria y Arqueología en homenaje a Pilar Acosta Martínez*. Universidad de Sevilla. Sevilla: 171-185.
- 2009b: "Los sistemas tradicionales de documentación del arte rupestre. Una revisión de sus ventajas y limitaciones". *Actas de la IV Bienal de Restauración Monumental "25 años de restauración monumental (1975-2000)"*. Madrid, 22-25 de enero de 2009. Academia del Partal. Madrid. En prensa.
- 2009c: "Análisis de imagen de paneles rupestres: mucho más que la elaboración de calcos digitales". *Sautuola XIV*: 423-436.
- ROGERIO-CANDELER, M.A.; LAIZ, L. y SAIJ-JIMENEZ, C. 2008: "Una experiencia de laboratorio para la separación de cubiertas en la documentación de pinturas rupestres y murales afectadas por biodeterioro". En C. Saiz-Jimenez y M.A. Rogerio-Candelera (eds.): *Avances Recientes en la Investigación sobre Patrimonio. Libro de Resúmenes*. Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural. Sevilla: 71-72.
- ROGERIO-CANDELER, M.A.; JURADO, V.; LAIZ, L. y SAIJ-JIMENEZ, C. 2009a: "Image analysis of biodeterioration-affected rock and mural paintings". En J.L. Ruvalcaba Sil, J. Reyes T. y A. Velázquez (coords.): *La Ciencia de Materiales y su impacto en Arqueología*, vol. V. Sociedad Mexicana de Ciencia de Materiales A.C. México. En prensa.
- ROGERIO-CANDELER, M.A.; VANHAECKE, F.; RESANO, M.; MARZO, P.; PORCA, E.; ALLOZA, R. y SAIJ-JIMENEZ, C. 2009b: "Combinación de análisis de imagen y técnicas analíticas para la distinción de diferentes fases en un panel rupestre (La Coquinera II, Obón, Teruel)". En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.): *Actas del IV Congreso El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco, Valencia 3-5 diciembre 2008*. Generalitat Valenciana. Valencia: 327-334.
- ROGERIO-CANDELER, M.A.; SOARES DE FIGUEIREDO, S.; GUIMARÃES, P. y BAPTISTA, A.M. 2009c: "Análisis de imagen de pinturas rupestres del yacimiento de Faia (Parque Arqueológico de Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal)". Este volumen.
- SÁNCHEZ-MORAL, S.; CAÑAVERAS, J.C.; SOLER, V.; SAIJ-JIMENEZ, C.; BEDOYA, J. y LARIO, J. 2002: "La conservación del monumento". En J.A. Lasheras (ed.): *Redescubrir Altamira*. Turner. Madrid: 245-257.
- SÁNCHEZ MORAL, S.; CAÑAVERAS, J.C.; LAIZ, L.; SAIJ-JIMENEZ, C.; BEDOYA, J. y LUQUE, L. 2003: "Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments. A short review". *Geomicrobiology Journal* 20: 491-500.
- SÁNCHEZ-MORAL, S.; CUEZVA, S.; FERNÁNDEZ-CORTÉS, A. y CAÑAVERAS, J.C. 2008: "Geología-Geoquímica-Microclima aplicados a la conservación del Patrimonio". En C. Saiz-Jimenez y M.A. Rogerio-Candelera (Eds.): *La investigación sobre Patrimonio Cultural. Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural*. Sevilla: 240-256.
- SÁNCHEZ-MORAL, S. y CAÑAVERAS, J.C. 2009: "Aspectos geológicos y microambientales en la Conservación del Arte Rupestre: Estudios en Andalucía". *Actas de las Jornadas de Reflexión para la Conservación de la Pintura Rupestre en Andalucía, Antequera, 18-20 enero de 2007*. Junta de Andalucía. Sevilla. En prensa.

ANÁLISIS DE IMAGEN DE PINTURAS RUPESTRES DEL YACIMIENTO DE FAIA (PARQUE ARQUEOLÓGICO DE VILA NOVA DE FOZ CÔA, GUARDA, PORTUGAL)

IMAGE ANALYSIS OF ROCK PAINTINGS OF FAIA SITE (PARQUE ARQUEOLÓGICO DE VILA NOVA DE FOZ CÔA, GUARDA, PORTUGAL)

Miguel Ángel Rogerio Candeleria (1) / Sofia Soares de Figueiredo (2) / Pedro Guimarães (3) / António Martinho Baptista (4)

(1) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

(2) Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho. Centro de Investigação Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória

(3) 4See Photographers

(4) Parque Arqueológico do Vale do Côa

RESUMEN: El yacimiento rupestre de Faia se inscribe en un estrecho cañón granítico excavado por el río Côa. Sus manifestaciones rupestres constituyen el mayor conjunto de pinturas paleolíticas y postpaleolíticas del ciclo rupestre del Valle del Côa. Se trata de una serie de motivos pintados en diferentes rocas expuestas a la acción directa de los elementos. En este trabajo se estudian mediante técnicas de descorrelación de imágenes digitales dos manifestaciones de la Roca 1 de difícil visualización, lo que se traduce en una dificultad añadida para elaborar su calco, ya que el tono rojizo de la roca soporte enmascara las áreas pintadas, además del ocultamiento parcial de las pinturas que produce la proliferación de líquenes y biofilms fototróficos en la superficie de la roca. Las bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales permitieron diferenciar las diferentes cubiertas mediante su utilización en imágenes en falso color. La utilización de estas técnicas permite la elaboración de calcos ajustados sin necesidad de contacto con los paneles pictóricos, así como cartografiar los distintos elementos relacionados con su conservación, abaratando sensiblemente en términos de tiempo la documentación de paneles rupestres sin afcción de ningún tipo a los bienes culturales documentados.

SUMMARY: Faia rock art site is located in a narrow granitic canyon dug by the river Côa. Rock art representations of this site constitute the major set of palaeolithic and postpalaeolithic paintings of Côa Valley rupestral cycle. The site is composed by several motifs painted on exposed rocks. The two studied panels are of problematic visualization, which difficult tracing as the reddish tone of the supporting rock mask the areas in which the pigment was applied, and also the partial hiding of the paintings by the proliferation of lichens and phototrophic biofilms on the rock surface. The digital images, highly correlated, were digitally decorrelated by means of Principal Components Analysis to improve visualization, allowing the differentiation of the pixels corresponding to different coverages by means of false-colour images. The implementation of these techniques sensibly reduces time employed in documentation, avoiding the risk of affection of the documented cultural assets.

PALABRAS CLAVE: Arte rupestre, Faia, Valle del Côa, análisis de Componentes Principales, análisis de imagen.

KEY WORDS: Rock art, Faia, Côa Valley, principal Components Analysis, image Analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de técnicas de análisis digital de imágenes a diferentes áreas científicas tales como las ciencias biomédicas, la prospección geológica o la teledetección espacial es en la actualidad una importante herramienta para la obtención, gestión y explotación de datos analíticos que encuentra campos de aplicación cada vez más extensos. Con respecto al arte rupestre, a pesar de que el uso de estas técnicas puede constituir una importante fuente de obtención de datos explotables tanto desde el punto de vista estricta-

mente arqueológico como desde puntos de vista más patrimonialistas, interesados en los aspectos relativos a la conservación, no se han hecho prácticamente aplicaciones que superen el umbral del retoque fotográfico, fundamentalmente con herramientas informáticas basadas en o similares a el software Adobe Photoshop. Las potencialidades del análisis digital de imagen son, no obstante, muchas, como hemos puesto de relieve en otros lugares (Rogerio-Candeleria 2009a;b), tanto para la obtención de datos analíticos como para la elaboración de calcos ajustados a la realidad, una tarea que, cuando se efectúa con métodos tradicionales

consume por lo general mucho tiempo y, en muchos casos, no está exenta de subjetividad además de constituir una fuente de riesgos para la integridad del bien (Carrera Ramírez 2002; Rogerio-Canclera 2009c).

Una de las posibilidades del análisis digital de imagen aplicado a motivos de arte rupestre consiste en la mejora de la visualización en motivos poco visibles a simple vista por medio de la aplicación de algoritmos de descorrelación digital de imágenes (Gillespie *et al.* 1986; Mark y Billo 2006; Vicent García *et al.* 1996). Para estos fines, el análisis de Componentes Principales (*Principal Components Analysis*, PCA) es una herramienta de primer orden, puesto que, sin pérdida de información con respecto a los datos de las imágenes originales, permite la explicación de cantidades progresivamente menores de varianza en cada una de las bandas resultantes.

En este trabajo se aplica una estrategia que implica la descorrelación de los niveles digitales de fotografías convencionales RGB y la elaboración de imágenes en falso color a partir de las bandas resultantes para mejorar la visualización de varios paneles rupestres.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Lugar de Muestreo

El núcleo de arte rupestre de Faia (Cidade, Portugal) se encuadra entre las manifestaciones parietales al aire libre declaradas Monumento Nacional e inscritas en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1998 como "Arte Rupestre del valle del Côa". Nuestro lugar de estudio se inscribe en un contexto geográfico dominado por macizos graníticos que, cortados por el río, forman un cañón profundo y estrecho. En este corredor, y particularmente a partir del inicio de su estrangulamiento, en el sentido Norte-Sur, se sitúan las rocas al aire libre en las que se emplazan las manifestaciones parietales (Figura 1). El acceso es difícil y condicionado por el nivel de las aguas del río Côa, haciéndose casi imposible en inviernos lluviosos. Sin excepción, todas las representacio-

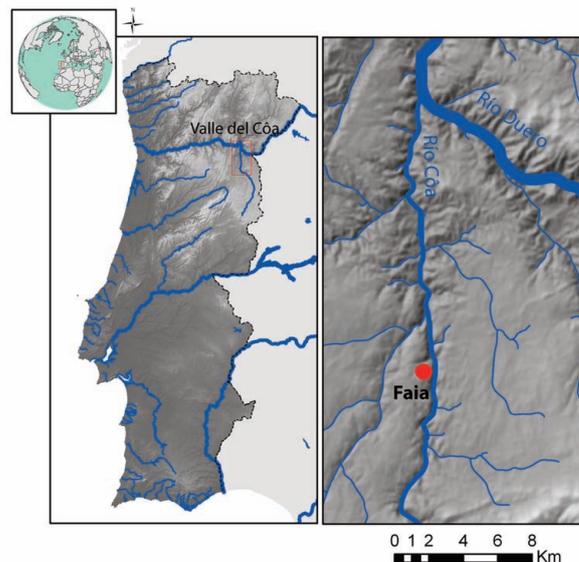


Fig. 1. Situación del núcleo de arte rupestre de Faia.

nes parietales de este núcleo se sitúan en la margen izquierda del río.

A diferencia del resto de las manifestaciones rupestres del Côa, grabadas en su gran mayoría, la técnica de realización de los paneles de Faia es la pintura con ocre rojo. Los paneles que constituyen el objeto de este trabajo se sitúan en la Roca 1. Se trata de un panel con dos bóvidos seminaturalistas y otro con una figura antropomorfa semiesquemática (Figura 2). La contextualización cronológica de los motivos postpaleolíticos pintados de Faia es bastante discutible. A los calcos realizados en los años noventa del siglo pasado, han seguido pocos estudios interesados en comprender mejor estas manifestaciones artísticas. Diferentes estilísticamente del conjunto dominante, los paneles aquí tratados presentan, de acuerdo con Sanches (2003: 160), características propias del arte de las poblaciones del Mesolítico/Neolítico peninsular. Para otros autores, tanto el panel de los bóvidos como la figura antropomorfa se encuadrarían en el "Estilo V", entrando así en cronologías holocenas relacionadas culturalmente con modos de producción epipaleolíticos (Bueno Ramírez *et al.* 2007). Otras interpretaciones destacan la semejanza entre los bóvidos seminaturalistas y la figura antropomórfica semiesquemática con los modelos de la pintura levantina, situándolos cronológicamente en una fase antigua del Neolítico (Carvalho 1999: 66). Las interpretaciones más re-

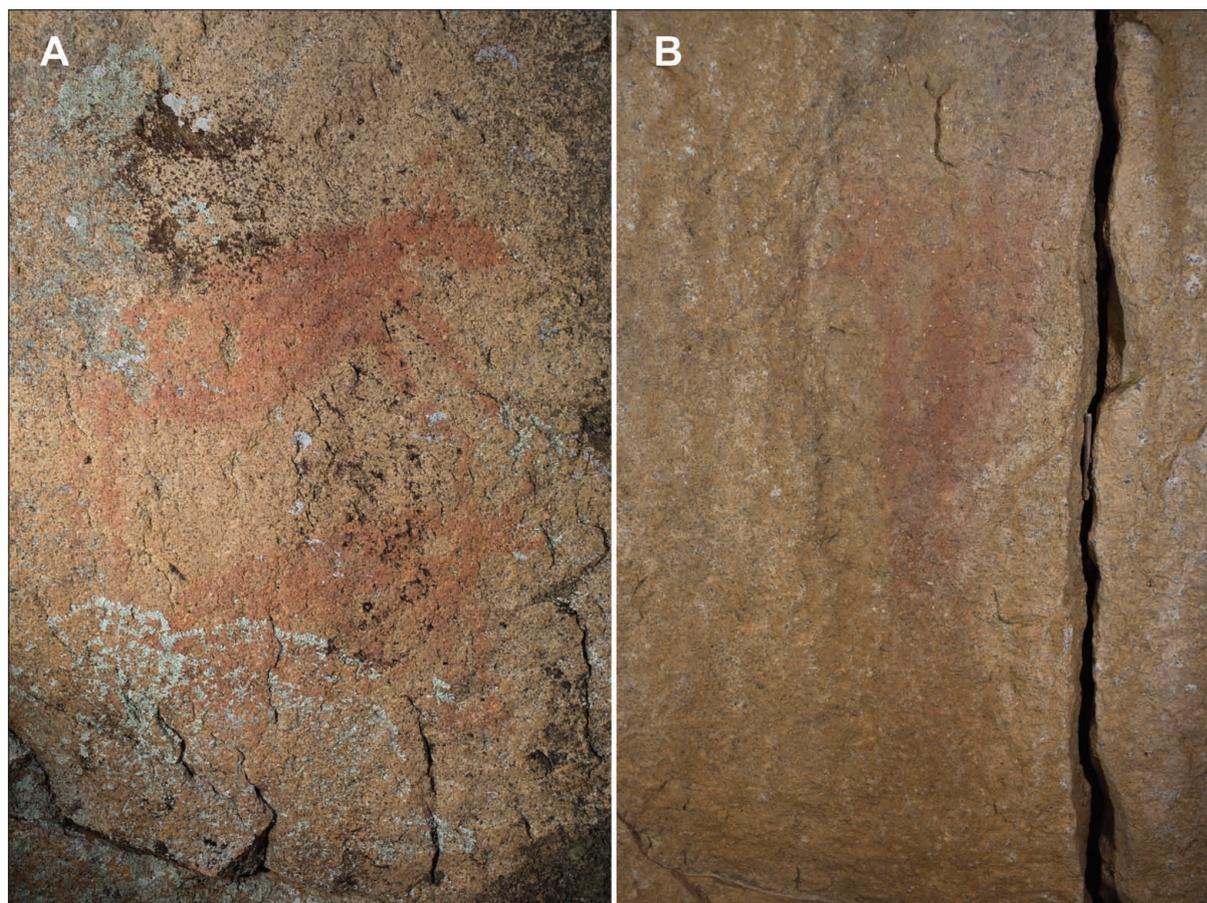


Fig. 2. (A) Panel de los bóvidos. (B) Figura antropomorfa. Fotografías de P. Guimarães.

cientes de dos de los autores de este trabajo (Baptista 1999; 2009; Figueiredo 2009) apuntan también a un período correspondiente al Neolítico antiguo. Futuros estudios centrados en el arte esquemático del nordeste portugués permitirán obtener otros datos que sin duda acudirán en apoyo de nuevas interpretaciones para las pinturas postpaleolíticas de Faia.

Análisis de imagen

A partir de imágenes digitales convencionales de tres bandas (espacio de color RGB) captadas con una cámara reflex digital Canon EOS 5D colocada en posición normal a los motivos rupestres y con iluminación natural, se calcularon las Componentes Principales (CP) por el método de la matriz de covarianzas. Utilizando las CP minoritarias (segunda y tercera) como bandas RGB se elaboraron imágenes en falso color para permitir la mejora de la visualización de los motivos. Para el cálculo de

las CP y la elaboración de imágenes en falso color se utilizó el software *HyperCube* (Army Geospatial Center, Estados Unidos). A partir de las bandas de CP más apropiadas y de las imágenes en falso color, convertidas a escala de grises, se elaboraron imágenes binarias utilizando el software *ImageJ* (National Institutes of Health, Estados Unidos). Los resultados se vectorizaron utilizando *CorelDRAW Graphic Suite X3* (Corel Corporation, Canadá). El resultado de la vectorización se exportó en formato .dwg para asegurar su compatibilidad con software CAD. La Figura 3 resume los protocolos de trabajo utilizados, producto de la optimización de los empleados en un trabajo anterior (Rogerio-Candelera *et al.* 2009a).

III. RESULTADOS

Grupo de los bóvidos

La aplicación del protocolo descrito a foto-

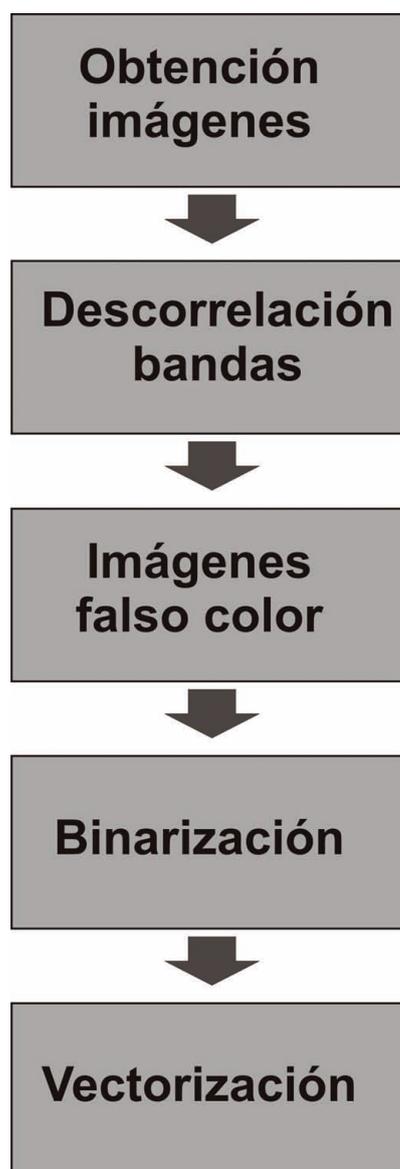


Fig. 3. Protocolo empleado para el análisis de imagen en este trabajo.

grafías digitales del panel de los bóvidos de la Roca 1 de Faia permitió elaborar, como resultado final, un calco vectorial detallado de las dos representaciones. El análisis de Componentes Principales mostró que la imagen original estaba altamente correlacionada, lo que se traduce en que la mayor parte de la información se recoge en la banda correspondiente a la Componente Principal 1 (96,37%), mientras que las Componentes Principales minoritarias explican, respectivamente un 3,44 y un 0,19% de la información (Tabla 1). Visualmente, las bandas producto del Análisis de Componentes Principales muestran que la tercera CP es la que separa mejor la cubierta pictórica,

aunque la señal reflejada por algunos líquenes foliáceos del centro de la imagen aparece codificada en niveles de gris semejantes a los de las figuras pintadas (Figura 4). Por el contrario, la respuesta espectral en la segunda Componente Principal ayuda a distinguir claramente entre pintura y líquenes, ya que los niveles de gris que corresponden a las áreas pintadas se distribuyen entre 160-180, mientras que en las zonas correspondientes a los líquenes, los niveles de gris varían entre 0 y 110. Para elaborar el calco, minimizando la información redundante que impide una correcta visualización, pareció aconsejable utilizar las dos componentes minoritarias, con las que se elaboró una imagen en falso color utilizando dos veces la banda que definía mejor la pintura (CP3).

Componente Principal	Autovalor	Covarianza explicada (%)
1	2,59E+08	96,37
2	9,24E+06	3,44
3	5,24E+05	0,19
Total	2,69E+08	100

Tabla 1. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel de los bóvidos.

La imagen resultante (Figura 5) permite definir, con tan sólo el 3,63% de la información recogida en la imagen original, de un lado la pintura y, de otro, las diferentes comunidades liquénicas que proliferan sobre la roca, afectando no sólo al soporte sino también al panel pictórico. El resto de la información contenida en la imagen original se relaciona con el microrelieve y el tono general de la roca soporte. A partir de este punto, la elaboración del calco fue relativamente sencilla, y consistió en la conversión a escala de grises de la imagen en falso color y la binarización a partir de la selección de los intervalos de gris pertinentes para separar las manifestaciones pintadas de las diferentes cubiertas bióticas. El resultado se almacenó en imágenes binarias diferentes.

Las imágenes binarias obtenidas constituyen la base para la vectorización de las diferentes cubiertas incluidas en el calco. La vectorización separada de las mismas permite la creación de cubiertas gestionables con sistemas de información

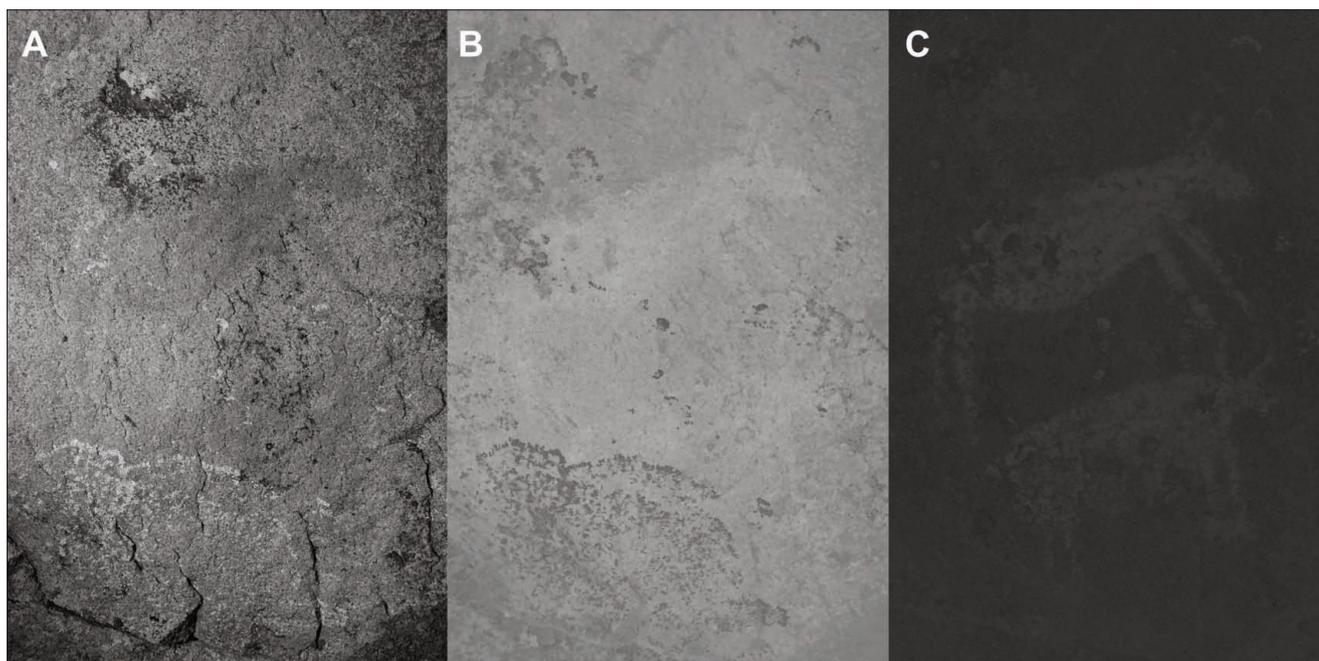


Fig. 4. Bandas producto del análisis de Componentes Principales de una imagen del panel de los bóvidos. (A) CP1, (B) CP2, (C) CP3.

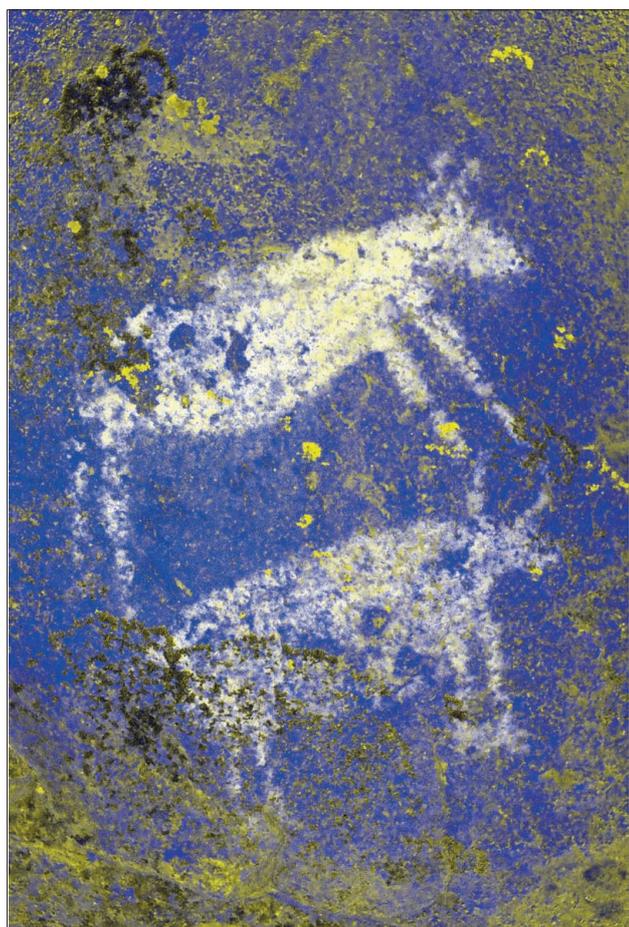


Fig. 5. Imagen en falso color del grupo de los bóvidos elaborada a partir de las CP minoritarias (CP3, CP3, CP2).

geográfica o entornos CAD, permitiendo bien el trabajo con cada una de las diferentes cubiertas por separado (Figura 6), bien la elaboración del equivalente a los mapas temáticos del sistema en el que se incluyen las manifestaciones rupestres.

Figura antropomorfa

La estrategia de análisis de imagen para la figura antropomorfa fue en esencia la misma que para el panel de los bóvidos. Se optó, no obstante, por trabajar sólo con la parte de la imagen en la que presuponíamos la existencia de pintura puesto que la presencia de una grieta profunda en el soporte, producía tonos muy oscuros que distorsionaban el resultado final. Siguiendo este enfoque, la tercera CP se mostró como la más relevante para destacar la presencia de pintura (Figura 7). Como muestra la Tabla 2, esta CP reflejaba un 0,08% de la información presente en el área de la selección efectuada, contra un 98,3% de la primera y un 1,62% de la segunda. Las imágenes en falso color construidas como en el caso de los bóvidos, permitían una buena apreciación de la pintura, si bien, para la elaboración del calco vectorial se utilizó tan sólo la imagen correspondiente a la tercera CP, ya

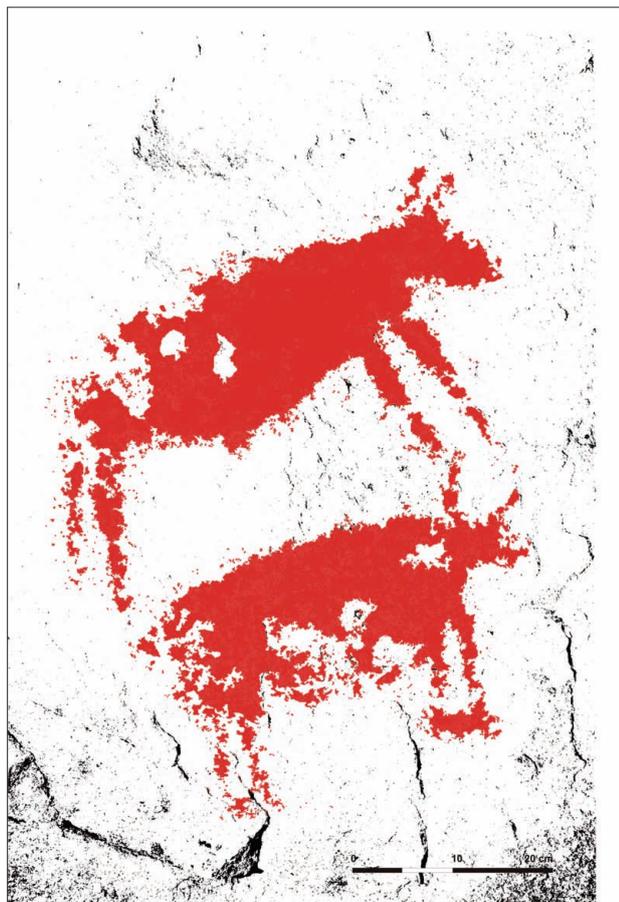


Fig. 6. Cubierta vectorial de la capa pictórica sobre microtopografía del fondo del panel de los bóvidos.

Componente Principal	Autovalor	Covarianza explicada (%)
1	2,62E+08	98,3
2	4,32E+06	1,62
3	2,22E+05	0,08
Total	2,67E+08	100

Tabla 2. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel del antropomorfo.

que la pintura aparecía suficientemente contrastada. En el caso de esta figura, aunque existe colonización líquénica, la superficie que ocupa es mucho menor que en el caso de los bóvidos. La segunda Componente Principal es la que permite una detección más certera, si bien con alguna información topográfica que se confunde con el gris más oscuro de los líquenes. La imagen en falso color elaborada con las tres CP aclara la cuestión, de-

jando en tonos azulados las sombras producto de la microtopografía del soporte y en tonos rosados la señal correspondiente a la colonización líquénica (Figura 8).

IV. DISCUSIÓN

La cuestión de lo que debe o no reflejar un calco permanece abierta. En buena lógica, la información recogida en un calco debe resultar de utilidad para alcanzar los objetivos del trabajo que se lleve a cabo. En muchas ocasiones, los calcos son el medio casi exclusivo de publicar el arte rupestre, por lo que la información recogida en ellos debería ser lo más exhaustiva posible. Tradicionalmente, el calco se entiende como una reproducción lo suficientemente fiable de los motivos rupestres, elaborada para el conocimiento del mismo y la comparación con otros motivos. En este tipo de calcos, que podríamos llamar clásicos a pesar de que las soluciones adoptadas son casi tan amplias como el número de investigadores que se han dedicado al arte rupestre, casi sólo tiene cabida la reproducción de los motivos, que aparecen en muchas ocasiones descontextualizados de su entorno físico. La roca soporte se representa en algunos casos como un mero fondo en el que situar las manifestaciones, a veces complicando su lectura. Enfoques recientes hacen hincapié en la necesidad de representar las líneas estructurales más relevantes del soporte (así, por ejemplo, Domingo Sanz y López Montalvo 2002), con lo que se aporta una información adicional importante cuando se trata de elaborar estrategias de conservación o explicar los procesos tafonómicos que han tenido lugar (Rogerio-Candelera 2009b). Sin embargo, otro tipo de información relevante, como es la presencia de elementos de carácter biótico susceptibles de producir el biodeterioro de las manifestaciones rupestres, brilla por su ausencia en los calcos.

El concepto de *calco integral* que hemos defendido en otros lugares (Rogerio-Candelera 2008¹; 2009a) parte de considerar las representa-

¹ ROGERIO-CANDELERERA, M.A. (2008). *Una propuesta no invasiva para la documentación integral del arte rupestre*. Trabajo de Investigación, Universidad de Sevilla.

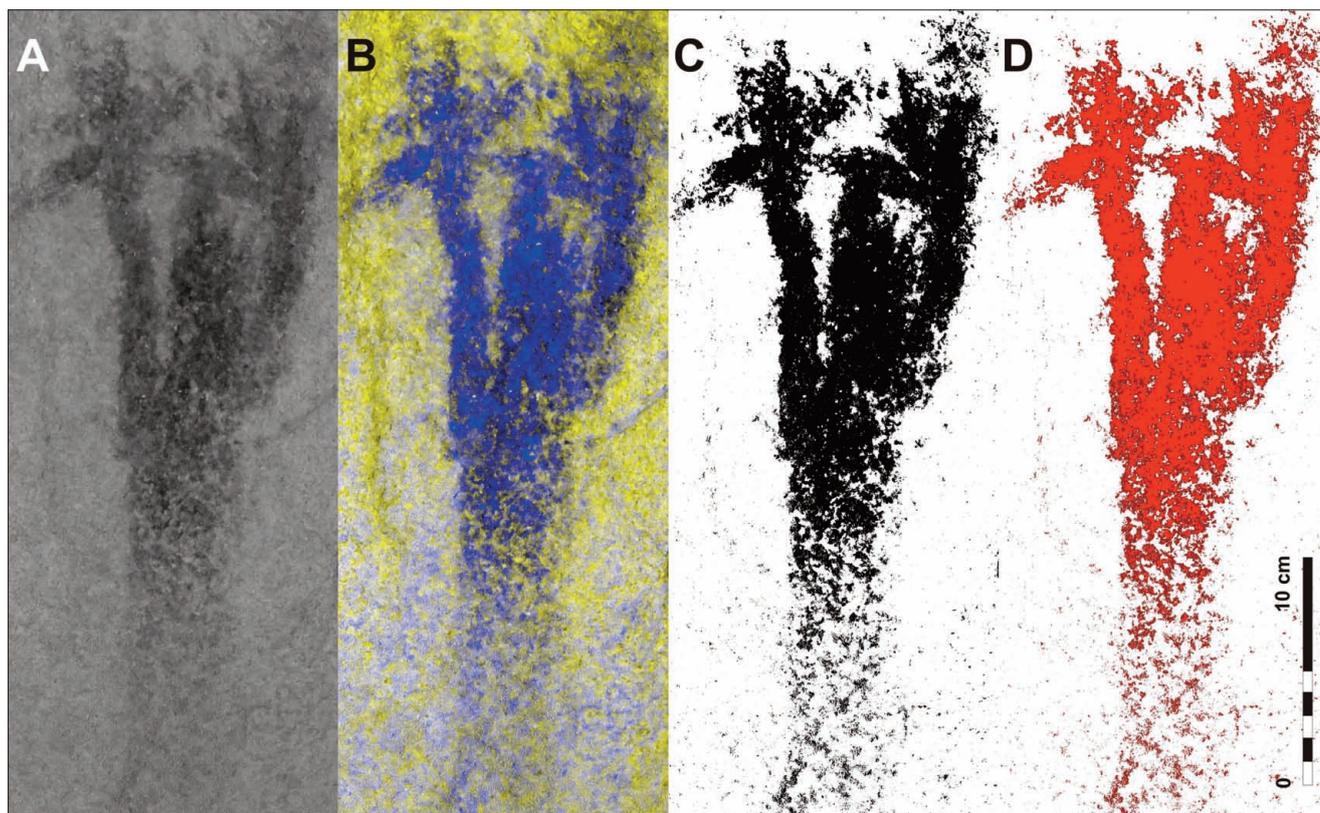


Fig. 7. (A) Tercera CP de la figura antropomorfa, (B) Falso color (CP3, CP3, CP2), (C) Imagen binaria a partir de la CP3, (D) Vectorización de la imagen binaria.

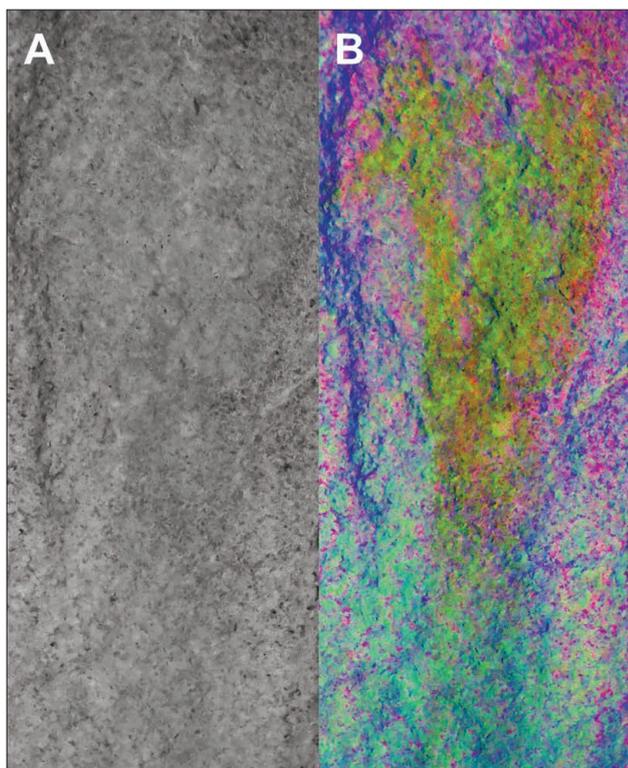


Fig. 8. (A) Segunda CP de la imagen del antropomorfo, (B) Falso color (PC1, PC2, PC3) que muestra, en tonos rosáceos la extensión de la colonización por líquenes.

ciones rupestres como uno más de los elementos abióticos de sistemas naturales complejos. Dentro de la lógica de este enfoque, la representación de uno o dos de los elementos integrantes del sistema carece de sentido, puesto que son muchos los factores representables espacialmente que tienen influencia, por separado o de manera sinérgica, en la homeostasis del mismo o, por el contrario, en su destrucción. La acción de los elementos de un sistema no se lleva a cabo siempre y en todos los lugares, sino que es función de la posición relativa que ocupen en el mismo (Margalef 1982). Por ello, la representación de los elementos que identifiquemos como relevantes para la conservación cobra una importancia crucial.

Desde este punto de vista conservacionista, no se trata tan sólo de identificar las posibles amenazas, sino de detectar los lugares donde estas pueden estar actuando. Sólo así es posible plantear estrategias tanto reactivas como proactivas de conservación de una manera fundada. La delimitación del área que ocupan los líquenes que proliferan sobre las manifestaciones parietales objeto de nues-

tro estudio debe, por una parte, complementarse con la identificación de la o las especies a las que pertenecen, para poder así valorar la incidencia de esta cubierta biológica. En este sentido, cabe resaltar que, independientemente de los deterioros de tipo estético que la proliferación de líquenes pueda producir, la amplitud del deterioro producido por estos variará en función del tipo de sustrato, las especies presentes y las condiciones ambientales, incluyendo entre estas la contaminación atmosférica o del suelo (Dandridge y Meen 2007). De particular interés para la conservación de las pinturas rupestres es la interacción entre los ácidos excretados por los líquenes, el soporte en el que éstas se encuentran, y la capa pictórica misma, en general de un grosor limitado a unas pocas micras.

La utilización de técnicas de análisis de imagen para la obtención del calco de los motivos pintados en Faia se justifica por la alta correlación visual de los motivos con respecto a la roca soporte. Si bien los procedimientos de aumento del contraste mediante técnicas de retoque fotográfico son suficientemente buenos para mejorar la visualización de figuras poco correlacionadas (así, por ejemplo, Maura y Cantalejo 2004; 2005), no ocurre lo mismo cuando es difícil distinguir la pintura del soporte debido a la semejanza de sus colores. En estos casos, es posible cometer errores de clasificación, ligados a la pérdida de los valores extremos del histograma. Por el contrario, las técnicas de descorrelación visual se erigen en una herramienta básica que permite mayor seguridad en los resultados con un menor coste de tiempo, y con la posibilidad de detectar “anomalías” tales como los repintes o la utilización de diferentes pigmentos (Rogerio-Candelera 2009b; Rogerio-Candelera *et al.* 2009b)

V. CONCLUSIONES

Las herramientas de análisis de imagen que utilizamos en este trabajo se han aplicado de manera escasa a la reproducción, estudio y conservación del arte rupestre. Por el contrario, predominan como herramientas de reproducción el calco directo y últimamente, el empleo de técnicas de retoque fotográfico que producen, en general, resultados mediocres cuando se trata de imágenes con un alto grado de correlación visual.

Como se demuestra en este trabajo, utilizando técnicas de descorrelación de imágenes es posible elaborar calcos digitales de manera rápida y precisa incluso cuando la visualización de las imágenes es difícil.

Por otra parte, el carácter no invasivo de las técnicas de análisis de imagen y la capacidad de estas para representar gráficamente cubiertas, a veces considerablemente extensas, de manera rápida y barata (en términos económicos y de tiempo empleado), las convierte en una herramienta de gran importancia desde el punto de vista de la conservación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de los proyectos “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos” (CSIC PIE 200440E327) y “Programa de investigación en Tecnologías para la Valoración y Conservación del Patrimonio” (CONSOLIDER CSD2007-00058).

BIBLIOGRAFÍA

- BAPTISTA, A.M. 1999: *No tempo sem tempo: a arte dos caçadores paleolíticos do Vale do Côa*. Parque Arqueológico do Vale do Côa. Vila Nova de Foz Côa.
- BAPTISTA, A.M. 2009: *O Paradigma Perdido: O Vale do Côa e a Arte Paleolítica em Portugal*. Edições Afrontamento, Parque Arqueológico Vale do Côa. Oporto.
- BUENO RAMÍREZ, P.; DE BALBÍN BEHRMANN, R. y ALCOLEA GONZÁLEZ, J.J. 2007: "Style v dans le bassin du Douro. Tradition et changement dans les graphies des chasseurs du Paléolithique Supérieur européen". *L'Anthropologie* 111: 549-589.
- CARRERA RAMIREZ, F. 2002: "La protección del arte prehistórico ibérico, ¿misión imposible?". *ArqueoWeb* 4(3). [En línea: http://www.ucm.es/info/arqueoweb/numero4_3/articulo4_3_proteccionarte.html consulta 21/09/2006].
- CARVALHO, A.F. 1999: "Os sítios de Quebrada e de Quinta da Torrinha (Vila Nova de Foz Côa) e o Neolítico antigo do Baixo Côa". *Revista Portuguesa de Arqueologia* 2(1): 39-70.
- DANDRIDGE, D.E. y MEEN, J.K. 2007: "Rock art, lichens, and geochemistry". *Coalition* 13: 2-4.
- DOMINGO SANZ, I. y LÓPEZ MONTALVO, E. 2002: "Metodología: el proceso de obtención de calcos o reproducciones". En R. Martínez Valle y V. Villaverde Bonilla (eds.): *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*. Museu de la Valltorta (Monografías del Instituto de Arte Rupestre 1). Tirig: 75-81.
- FIGUEIREDO, S.S. 2009: "Anthropomorphic Figures in Post-Paleolithic Paintings from the Northeast of Portugal: Who Are They and What Doing?". *Global Rock Art: Congresso Internacional de Arte Rupestre, 2009, Piauí – Brasil*, Resumos eletrônicos. [En línea: <http://www.globalrockart2009.abarterupestre.org.br/resumos/resumos24.html>].
- 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.
- MARGALEF, R. 1982: *Ecología*. Omega. Barcelona.
- MARK, R. y BILLO, E. 2006: "Computer-assisted photographic documentation of rock art". *Coalition* 11: 10-14.
- MAURA, R. y CANTALEJO, P. 2004: "La metodología aplicada en la cueva de Ardales para la documentación del arte prehistórico". *Sociedades recolectoras y primeros productores. Actas de las Jornadas Temáticas Andaluzas de Arqueología. Ronda, 28 al 30 de Octubre de 2003*. Junta de Andalucía. Sevilla: 317-331.
- MAURA, R. y CANTALEJO, P. 2005: "Procesos digitales aplicados a la reproducción gráfica del arte paleolítico". En J.L. Sanchidrián, A.M. Márquez y J.M. Fullola (eds.): *La Cuenca Mediterránea durante el Paleolítico Superior. 38.000 – 10.000 años. IV Simposio de Prehistoria Cueva de Nerja*. Fundación Cueva de Nerja. Málaga: 396-405.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.A. 2009a: "Análisis de imagen y documentación integral del arte rupestre: una propuesta de futuro". En R. Cruz-Auñón Briones y E. Ferrer Albelda (Eds.): *Estudios de Prehistoria y Arqueología en homenaje a Pilar Acosta Martínez*. Universidad de Sevilla. Sevilla: 171-185.
- 2009b: "Análisis de imagen de paneles rupestres: mucho más que la elaboración de calcos digitales". *Sautuola* XIV: 423-436.
- 2009c: "Los sistemas tradicionales de documentación del arte rupestre. Una revisión de sus ventajas y limitaciones". *Actas de la IV Bienal de Restauración Monumental "25 años de restauración monumental (1975-2000)". Madrid, 22-25 de enero de 2009*. Academia del Partal. Madrid. En prensa.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.A.; JURADO, V.; LAIZ, L. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009a: "Image analysis of biodeterioration-affected rock and mural paintings". En J.L. Ruvalcaba Sil, J. Reyes T. y A. Velázquez (coords.): *La Ciencia de Materiales y su impacto en Arqueología*, vol. V. Sociedad Mexicana de Ciencia de Materiales A.C. México. En prensa.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.A.; VANHAECKE, F.; RESANO, M.; MARZO, P.; PORCA, E.; ALLOZA, R. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009b: "Combinación de análisis de imagen y técnicas analíticas para la distinción de diferentes fases en un panel rupestre (La Coquinera II, Obón, Teruel)". En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.): *Actas del IV Congreso El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco, Valencia 3-5 diciembre 2008*. Generalitat Valenciana. Valencia: 327-334.
- SANCHES, M.J. 2003: "Sobre a ocupação do Neolítico inicial no Norte de Portugal". En V.S. Gonçalves (ed.): "Muita Gente, Poucas Antas? Origens, Espaços e Contextos do Megalitismo (Actas do II Colóquio Internacional sobre Megalitismo)". *Trabalhos de Arqueologia* 25: 155-179.
- VICENT GARCIA, J.M.; MONTERO RUIZ, I.; RODRIGUEZ ALCALDE, A.L.; MARTINEZ NAVARRETE, M.I. y CHAPA BRUNET, T. 1996: "Aplicación de la imagen multispectral al estudio y conservación del arte rupestre post-paleolítico". *Trabajos de Prehistoria* 53(2): 19-35



PÓSTERS CONSERVACIÓN DEL
PATRIMONIO

ESTADO DE CONSERVACIÓN Y PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DE LA IGLESIA DE SANT VICENÇ (TOSSA DE MAR, GERONA)*

CONSERVATION STATE AND RESTORATION PROPOSITION OF THE SANT VICENÇ CHURCH (TOSSA DE MAR, GERONA)

Aureli Álvarez Pérez (1) / Africa Pitarch Martí (2) / P. Arroyo Casals (3) / J. C. Ortíz (4)

(1) Dpto. Geología, Universidad Autónoma de Barcelona. Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC)

(2) Laboratorio de Aplicaciones Analíticas de Rayos-X, Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC

(3) Director tècnic de LESENA (Servei Integral al Patrimoni S.L.)

(4) Dpto. Geología, Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN: La iglesia de Sant Vicenç está situada en el recinto amurallado de la ciudad vieja de Tossa de Mar (Gerona). El edificio es de estilo gótico y fue edificado el siglo XVI.

En la construcción se emplearon dos tipos de aparejo: uno formado por piedra de origen local y de formas y tamaño irregulares, cementada con grandes cantidades de mortero de cal y otro que utilizó piedra tallada (sillares).

El estado de conservación actual está relacionado con su orientación y viene marcada por el desguace que sufrió a mediados del siglo XIX con la correspondiente degradación de la obra.

La utilización de materiales graníticos, de gran resistencia y poca alterabilidad ha contribuido al buen estado general de la mampostería. Los elementos escultóricos y arquitectónicos elaborados con areniscas son los que están en peor estado de conservación. A pesar de estar afectado por una atmósfera marina, el contenido en sales es relativamente bajo.

Por todo ello es aconsejable una mínima intervención y una actuación limitada a los elementos constructivos y ornamentales que realmente lo necesiten. Todos los elementos pueden conservarse en su lugar y no parece necesaria una substitución.

SUMMARY: The Sant Vicenç church is located in the ancient town of Tossa de Mar (Gerona). It is a gothic building (XVI century). In their construction were used tow types of walls. A first type was formed with local stones of irregular forms and dimensions, cemented with a great quantity of lime mortar. The other type is formed by squared stones.

The actual conservation state has relation with the orientation of the wall and their decay was accentuated for a supported dismantlement in the XIX century.

The employment of granitic stones has contributed to the good conservation of the building. The sculptural and architectonic elements elaborated with sandstone show a worse conservation state. The content in soluble sales is relatively low.

The intervention must be limited to the constructive and ornamental elements that needed a restoration. It is not essentially to remove the altered material.

PALABRAS CLAVE: Materiales de construcción, morteros de cal, alteraciones, conservación.

KEY WORDS: materials, lime mortars, alterations, conservation.

I. INTRODUCCIÓN

La iglesia vieja de Sant Vicenç está situada en el recinto amurallado de la Vila Vella de Tossa de Mar (Gerona), en la parte alta del monte Guardí. Es de estilo gótico tardío, probablemente del siglo

XVI. El edificio, orientado de norte a sur, tiene una sola nave y diversas capillas laterales. Sólo el ábside y la sacristía conservan el tejado (Figura 1).

En la construcción del edificio se emplearon dos tipos de aparejo: la piedra irregular y la piedra

* Este trabajo ha sido subvencionado por el Exmo. Ayuntamiento de Tossa de Mar (La Selva, Gerona) Consejería de Cultura.

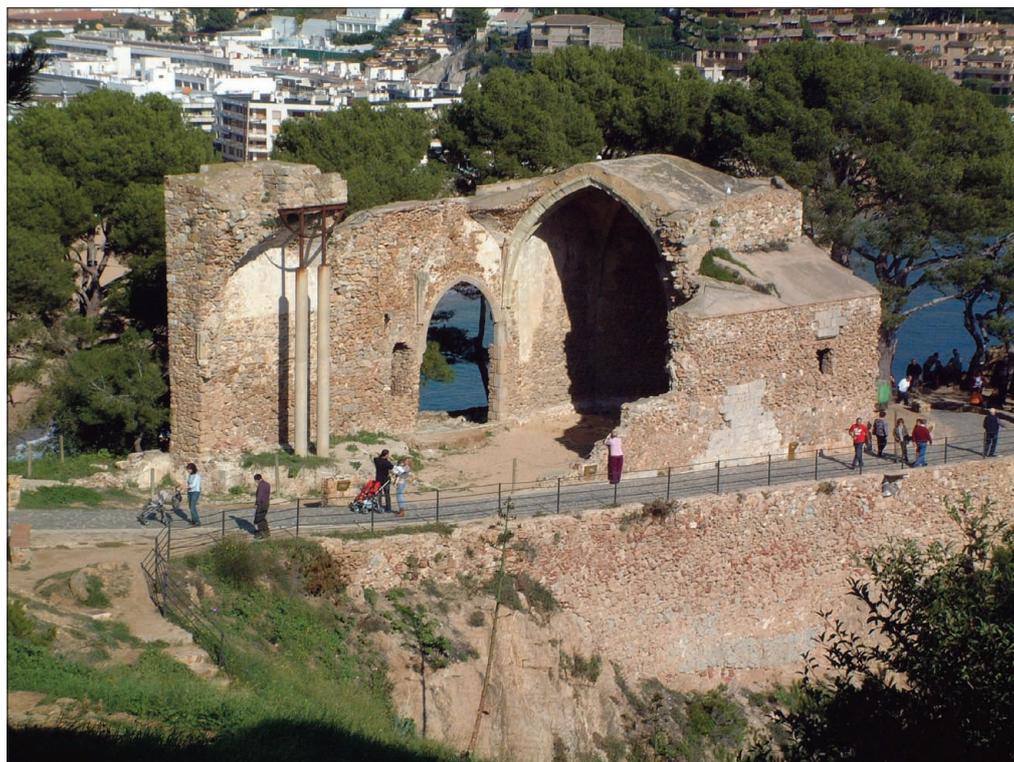


Fig. 1. Aspecto general que ofrece la iglesia vieja de Sant Vicenç en Tossa de Mar (Gerona).



Fig. 2. Arranque de las nervaduras de las bóvedas.

tallada (Cirici 1975). En el primer caso se trata de materiales de origen local, de formas y medidas muy diversas e irregulares, que fueron unidas con mortero de cal. En el segundo caso se trata de elementos de piedra tallada, a veces esculpida. Estos elementos se utilizaron, en las nervaduras de las bóvedas de las capillas laterales (Figura 2), para la construcción de la clave de bóveda del ábside (Figura 3) y en los ventanales.

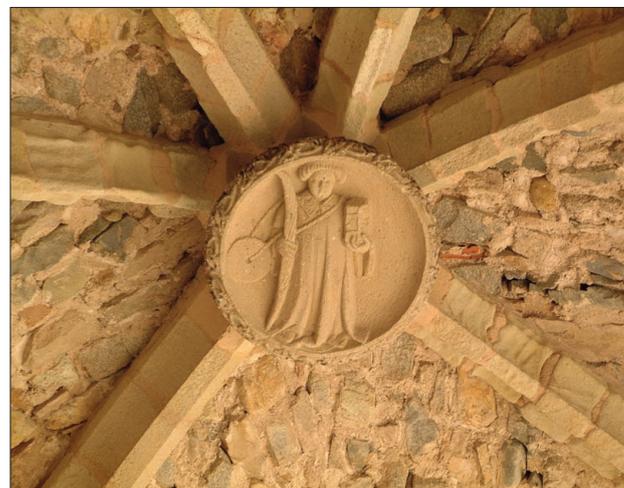


Fig. 3. Clave de bóveda del ábside, trabajada en piedra arenisca local.

El interior de la iglesia estaba recubierto con un enlucido que imitaba sillares de piedra cuyas uniones estaban dibujadas con pintura negra.

II. ESTUDIO DE LOS MATERIALES

Además de las técnicas de observación directa de muestras manuales, mediante una lupa binocular ZEISS Stemi 2000-C dotada de unos brazos

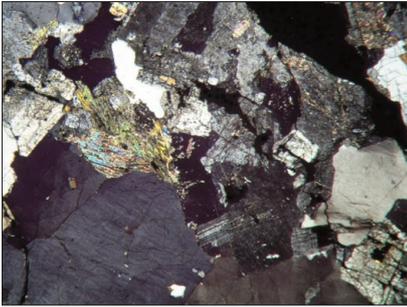


Fig. 4. Muestra M28. Leucogranito de dos micas.

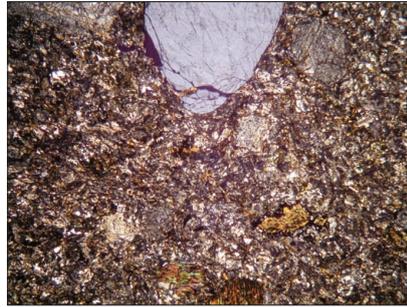


Fig. 5. Muestra M20. Microgranito porfídico.

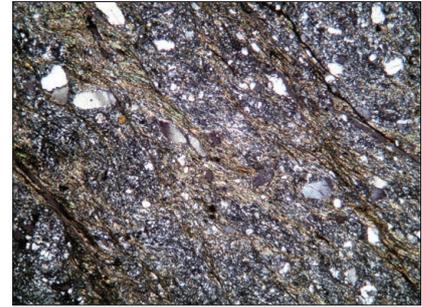


Fig. 6. Muestra M31. Esquisto pelítico.

de luz ZEISS KL 1.500LCD, se ha utilizado, para la identificación de los materiales, el microscopio petrográfico de luz polarizada modelo NIKON Eclipse 50iPOL equipado con una cámara fotográfica NIKON COOLPIX5400 y la difracción de rayos-x, realizada en un difractómetro de la casa Philips, modelo X'Pert, utilizando la radiación Ka del cobre. Los difractogramas han sido interpretados mediante el programa informático X'Pert High Score Plus.

Microscopio petrográfico de luz polarizada

Para el estudio de los materiales constructivos (rocas, morteros y cerámica) esta técnica es de gran utilidad pues nos da una idea exacta de la textura del material y de su estado actual de degradación. Previamente deben prepararse láminas delgadas (30 micras de espesor) de cada una de las muestras.

Materiales lapídeos

De la observación directa del edificio se deduce que no existe una pauta predeterminada o un planteamiento previo sobre la utilización de las diversas litologías y bloques de piedra. Parece ser que se colocaban a medida que iban llegando a disposición de los constructores. Solo para ciertos elementos decorativos se utilizaron areniscas y calizas, más aptas para ser trabajadas que el resto, de piedras de naturaleza granítica y porfídica.

En la zona se hallan rocas de diversa tipología de las que convendría destacar, por haber sido utilizadas en la iglesia, las siguientes:

- **rocas ígneas:** consolidadas a partir de un magma

* *rocas plutónicas* - rocas de naturaleza ácida, holocristalinas de grano medio a grueso y compuestas fundamentalmente por cuarzo, feldespatos y minerales máficos.

-granitoides - granodiorita (M24)
leucogranito de dos micas (M28) (Figura 4)

granito milonítico (M33)

- aplitas / pegmatitas (M26)

- diorita (M29)

* *rocas subvolcánicas* - suelen formar diques de composición similar a la de los granitos, pero con una textura y medida de grano diferente (microgranitos y porfídicos)

- microgranito porfídico (M20, M32) (Figuras 5)

- leucogranito porfídico (M27))

* *rocas volcánicas* - tienen la misma composición que las rocas graníticas pero presentan un tamaño de grano fino y puede llegar a ser incluso vítrea

- felsita (M25)

- **rocas metamórficas:** rocas que han soportado una modificación mineralógica i/o estructural debido a nuevas condiciones físico-químicas a las que han estado sometidas.



Fig. 7. Muestra M14. Caliza nummulítica.



Fig. 8. Muestra M22. Caliza con alveollinas.

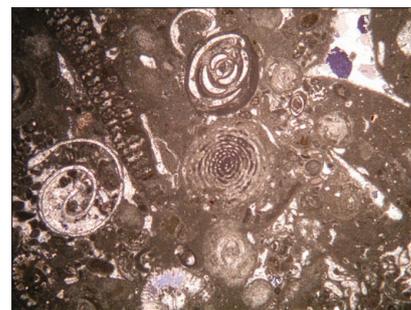


Fig. 9. Muestra M23. Caliza con alveollinas.

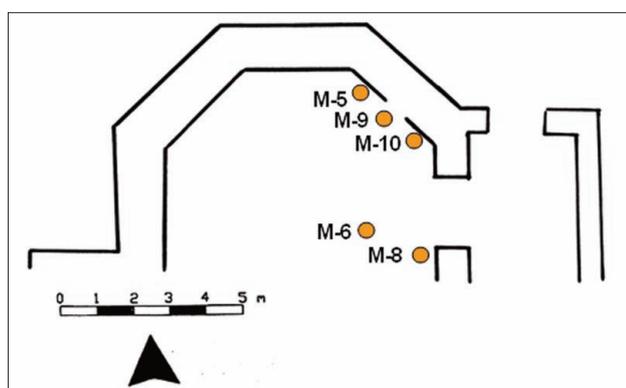


Fig. 10. Localización de las muestras de mortero en la parte del ábside.

* *esquistos* (M31) (Figura 6)

* *cuarcitas* (M35)

* *meta arcosas* (M15)

- **rocas sedimentarias:** formadas en la superficie terrestre (a temperatura inferior a 200 °C) que pueden presentar estratificación y que provienen de la erosión y el transporte de partículas de rocas preexistentes, de la acción bioquímica o de la precipitación química.

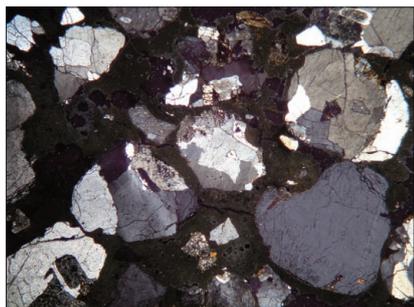


Fig. 11. Muestra M6. Mala distribución del árido y exceso de agua en la preparación.

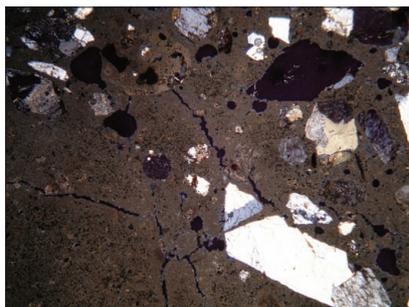


Fig. 12. Muestra M8. Mortero formado por dos capas. Preparado con exceso de agua.

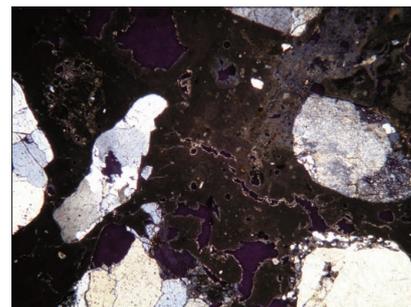


Fig. 13. Muestra M10. Mortero preparado con exceso de agua.

* *calizas* (M14, M22, M23) (Figuras 7, 8, 9)

* *travertino*

Morteros

Para seleccionar los morteros más representativos conviene tener en cuenta la evolución del edificio a lo largo del tiempo, que nos permitirá establecer los siguientes grupos y categorías (Gárate 1994):

- **morteros de junta** de época gótica (finales del siglo XVI) época de inspiración neoclásica (a partir del siglo XVI) capillas de la parte oriental nueva sacristía.

- **morteros de reparación** desde la primera edificación hasta nuestros días.

- **morteros de recubrimiento** enlucados y enlucados, sobretudo en el interior de la iglesia.

La iglesia consta de una única nave terminada con un ábside poligonal de tres muros con

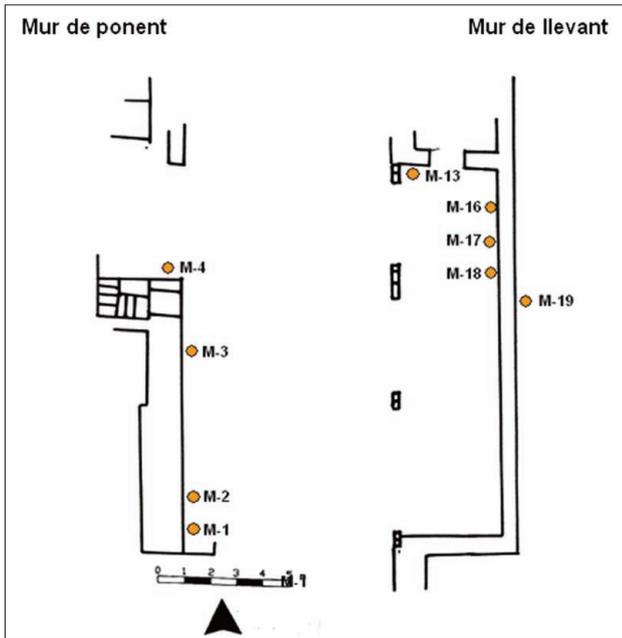


Fig. 14. Distribución de muestras de morteros recogidas en esta zona.

una pequeña sacristía adosada a modo de brazo en el lateral este. El muestreo se ha llevado a cabo según se indica en la Figura 10. El estudio microscópico queda reflejado en las Figuras 11, 12 y 13.

La iglesia está orientada de norte a sur y se pueden distinguir los dos muros laterales, uno de levante y otro de poniente. El muro de levante tiene capillas y estructuras adosadas donde se han recogido diversas muestras de morteros (Figura 14).

A continuación exponemos algunos de los morteros de esta zona observados al microscopio de luz polarizada (Figuras 15, 16 y 17).

El acceso a la sacristía, situada en la parte este de la iglesia, se realiza mediante una puerta abierta

en el muro. Es de planta rectangular y está cubierta por una bóveda de cañón. (Figuras 18 y 19).

Los morteros han sido preparados con un exceso de agua, lo que ha originado fracturas en el momento de consolidarse

Difracción de rayos-x

La composición mineralógica, tanto de los materiales lapídeos como de los morteros, se ha llevado a cabo mediante el microscopio de luz polarizada.

Para una caracterización completa de los morteros es preciso definir las características del aglomerante que, aunque en nuestro caso se intuye que son todos de cal, debe, no obstante, comprobarse. Para ello se ha utilizado la difracción de rayos-x.

Se han seleccionado, como más representativos los siguientes morteros: M2 (procedente del interior del muro lateral oeste), M8 y M10 (procedentes de la zona del ábside) y M13 (procedente del muro lateral este en la zona de la sacristía).

Además del aglomerante, los difractogramas han detectado la presencia de algunos de los minerales de la carga, que ya habían sido identificados mediante el microscopio de luz polarizada (Figura 20).

Los componentes identificados son:

- **M2** aglomerante: calcita y calcita magnesiana

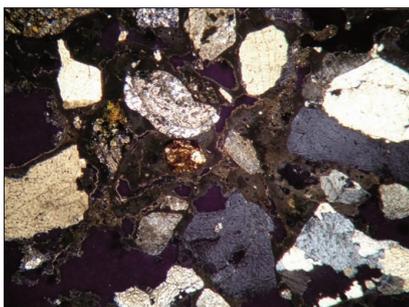


Fig. 15. Muestra M1. Interior del muro lateral oeste.

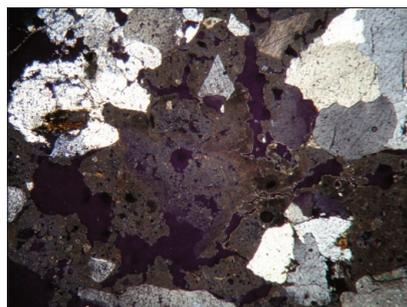


Fig. 16. Muestra M2. Interior del muro lateral oeste.

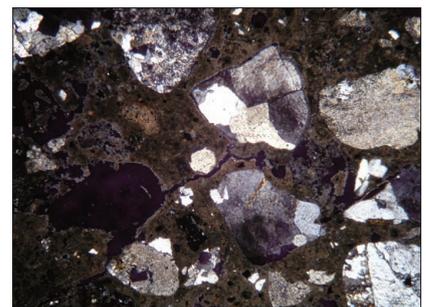


Fig. 17. Muestra M13. Interior del muro lateral este.



Fig. 18. Parte exterior de la sacristía.

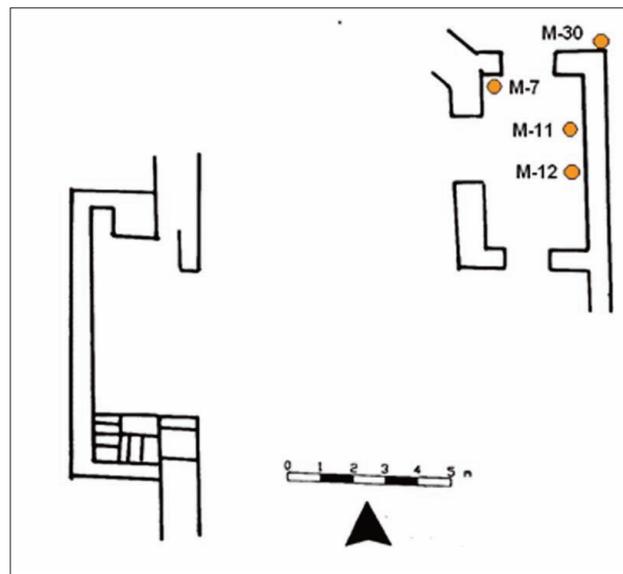


Fig. 19. Localización de las muestras.

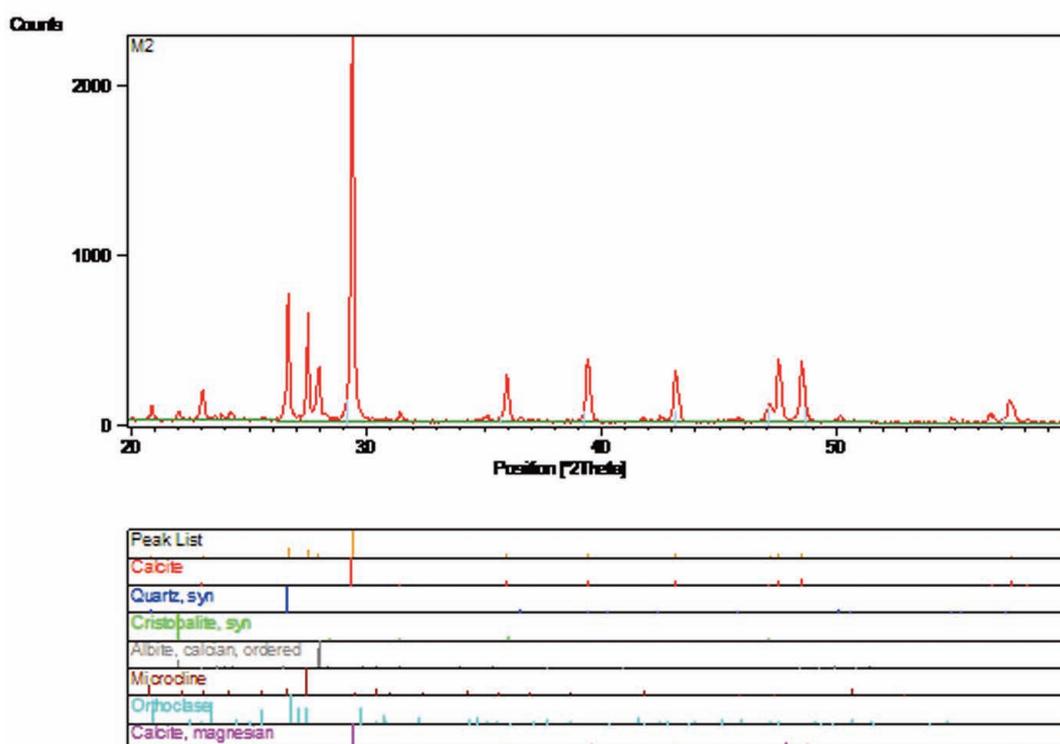


Fig. 20. Difractograma de la muestra de mortero M2, que muestra la presencia de calcita y calcita magnésiana como componentes del aglomerante. El resto de minerales identificados pertenecen a la carga.

carga: cuarzo, albita, microclina y ortosa

- **M8** aglomerante: calcita, cuarzo, albita, microclina y ortosa

- **M10** aglomerante: calcita y calcita mag-

nesiana

- **M13** aglomerante: calcita y calcita magnésiana

ortosa

carga: moscovita, albita y ortosa

carga: moscovita, albita, microclina y

III. FORMAS DE ALTERACIÓN

Las areniscas son los materiales que presenten mayores alteraciones, aunque su empleo no es excesivo pues únicamente han sido utilizadas en las nervaduras de las bóvedas, en la llave de bóveda con la figura de San Vicente y en algunos ámbitos de las ventanas.

La alteración del resto de materiales no es de gran importancia. Aparecen algunas aristas redondeadas, algunas desplazaciones, impregnaciones con óxidos de hierro y algunas eflorescencias debidas a sales solubles, procedentes de los morteros.

Por su parte los muros orientados al norte (lado opuesto a la línea de mar), debido a la constante humedad existente, están prácticamente recubiertos de vegetación, concretamente líquenes de la familia de las roceláceas, siendo la especie dominante la *Rocella phycopsis*, que era usada para

preparar un colorante púrpura muy apreciado.

Sin entrar en detalles sobre las degradaciones de tipo estructural, detallamos las principales degradaciones presentadas por las areniscas (Arnold *et al.* 1979; Fitzner *et al.* 1995).

a) modificaciones superficiales:

alteraciones cromáticas (Figura 21)

costras y eflorescencias (Figura 22)

deposiciones (Figura 23)

b) eliminación de materia con formación de agujeros (Figuras 24)

sin formación de agujeros (Figura 25)

c) deformaciones

d) rupturas y disyunciones (Figura 26)



Fig. 21. Alteraciones cromáticas debidas a óxidos de hierro (limonitización).



Fig. 22. Eflorescencias formadas a partir de los morteros de junta.



Fig. 23. Deposición de líquenes (*Rocella phycopsis*).



Fig. 24. Formación de alvéolos y cavernas.



Fig. 25. Pérdida de materia en las figuras de la base.



Fig. 26. Fracturas originadas por desequilibrio estructural.

IV. DIAGNOSIS Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Actualmente existen graves problemas de conservación en el conjunto global de la iglesia que podrían concretarse en la pérdida puntual de elementos estructurales, pérdida de mortero de juntas, disgregación granular y alveolización de algunos elementos de talla. Hay cantidades variables de sales solubles y proliferación de bioorganismos entre los que aparecen algunas plantas superiores que han enraizado en algunos muros. También debe indicarse reparaciones llevadas a cabo con cemento portland y la presencia de elementos relacionados con una instalación eléctrica que debería ser revisada o eliminada.

Teniendo en cuenta que solamente deberán realizarse las intervenciones estrictamente necesarias, siempre se tendrá en cuenta el aspecto conservativo por encima del reconstructivo, en el ámbito conocido como restauración arqueológica (Lazzarini *et al.* 1986). Por tanto no se plantea la reconstrucción de las formas perdidas ni la sustitución de elementos pétreos originales.

Los principales temas de intervención se pueden centrar en los morteros de unión y de revestimiento (enlucidos) y en los materiales de la fábrica aplicando las técnicas tradicionales de limpieza, consolidación e hidrofugación (Esbert 1993).

BIBLIOGRAFÍA

ARNOLD, A.; JEANETTE, D. y ZEHNDER, K. 1979: *Proposal for a terminology of weathering phenomena on building stones*. International Council of Monuments and Stones (ICOMOS), Group Petrography.

CIRICI, A. 1975: *L'Arquitectura catalana*. Editorial Teide S. A. Barcelona.

ESBERT, R. M. 1993: "Utilización de protectores superficiales para la conservación de la piedra: situación actual en

España". *Materiales para la Construcción* 43, nº 229: 5-16.

FITZNER, B.; HEINRICHS, K. y KOWNATZKI, R. 1995: *Weathering forms: Classification and mapping*. Berlin: Ernst and Sohn.

GARATE, I. 1994: *Artes de la cal*. Ministerio de Cultura. ICRBC. Ediciones de la Universidad de Alcalá de Henares.

LAZZARINI, L. y LAURENZI TABASSO, M. 1986: *Il restauro de la pietra*. Ediciones CEDAM, Padova.

Libro de Actas

VIII Congreso ibérico de Arqueometría

