

# ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS

## 29



ACTAS DO XIII CONGRESSO IBÉRICO DE ARQUEOMETRIA  
(FARO, 2021)

2021  
OEIRAS

# ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS

Volume 29 • 2021

ACTAS DO XIII CONGRESSO IBÉRICO DE ARQUEOMETRIA  
(Faro, 2019)



**Editores Científicos: Célia Gonçalves, Daniel García Rivero, M.<sup>a</sup> Isabel Dias,  
Nuno Bicho, Ruth Taylor, Manuel García-Heras, João Luís Cardoso**

INTERDISCIPLINARY CENTER FOR ARCHAEOLOGY AND EVOLUTION  
OF HUMAN BEHAVIOUR, UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
DEPARTAMENTO DE PREHISTORIA Y ARQUEOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO / INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR,  
UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA  
INSTITUTO DE HISTORIA, CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
SOCIEDAD DE ARQUEOMETRÍA APLICADA AL PATRIMONIO CULTURAL  
CENTRO DE ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DO CONCELHO DE OEIRAS /  
CÂMARA MUNICIPAL DE OEIRAS

2021

**ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS**

Volume 29 • 2021      ISSN: 0872-6086

- DESENHO E FOTOGRAFIA – Autores ou fontes assinaladas  
PRODUÇÃO – Gabinete de Comunicação / CMO  
CORRESPONDÊNCIA – Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras  
Fábrica da Pólvora de Barcarena  
Estrada das Fontainhas  
2745-615 BARCARENA

Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos Autores.  
É expressamente proibida a reprodução de quaisquer imagens sobre as quais existam direitos de autor sem o prévio consentimento dos signatários dos artigos respectivos.

Aceita-se permuta  
*On prie l'échange*  
*Exchange wanted*  
*Tauschverkehr erwünscht*

ORIENTAÇÃO GRÁFICA E

REVISÃO DE PROVAS – Editores

PAGINAÇÃO – César Antunes

IMPRESSÃO E ACABAMENTO – Graficamares, Lda. - Amares - Tel. 253 992 735

DEPÓSITO LEGAL: 97312/96

## ÍNDICE GERAL/CONTENTS

Apresentação <i>Presentation</i> .....	7
MANUEL GARCÍA-HERAS La Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultural (SAPAC) y Los Congresos de Arqueometría Ibérica (CIA) <i>The Society of Archaeometry Applied to Cultural Heritage (SAPAC) and The Iberian Archaeometry Congresses (CIA)</i> .....	9
RUTE CORREIA CHAVES, JOÃO PEDRO VEIGA & ANTÓNIO MONGE SOARES Cerâmicas calcólicas de Vila Nova de São Pedro (Região de Lisboa) – Caracterização Textural e Química <i>Chalcolithic ceramics from Vila Nova de São Pedro (Lisbon Region) – Textural and Chemical Characterization</i> .....	17
MICHAL KRUEGER & VIOLETA MORENO MEGÍAS La Transición Bronce Pleno – Orientalizante en Setefilla (Lora Del Río, Sevilla): datos arqueométricos de una secuencia estratigráfica <i>Bronze age to orientalizing period transition in Setefilla (Lora Del Río, Seville): archaeometric data from a stratigraphic sequence</i> .....	25
R. JIMÉNEZ PASALODOS, F. AGUA, J.J. PADILLA FERNÁNDEZ, M.A. VILLEGAS & M. GARCÍA-HERAS Arqueometría y acústica en el estudio de reproducciones de trompetas cerámicas celtibéricas y su comparación con trompetas numantinas <i>Archaeometry and acoustics in the study of reproductions of celtiberian ceramic trumpets and their comparison with numantine trumpets</i> .....	33
BLANCA GÓMEZ-TUBÍO, SIMONA SCRIVANO, INÉS ORTEGA-FELIU, FRANCISCO J. AGER, MIGUEL ÁNGEL RESPALDIZA, NOÉ CONEJO & FRANCISCO J. SÁNCHEZ Primeros avances sobre el Estudio del Tesoro de Tomares <i>Early progress on the Study of the Tomares Hoard</i> .....	41
VIRGÍLIO HIPÓLITO CORREIA, PEDRO VALÉRIO, M. FÁTIMA ARAÚJO & RAFAELA ALVES Caracterização das actividades metalúrgicas na Casa atribuída a Cantaber (Conimbriga, Prov. Lusitania, Portugal) <i>Characterization of the metallurgical activities in the House attributed to Cantaber (Conimbriga, Prov. Lusitania, Portugal)</i> .....	49

LÁZARO LAGÓSTENA BARRIOS, JOSÉ ANTONIO RUIZ GIL, DOMINGO MARTÍN MOCHALES, JENNY PÉREZ MARRENO, ISABEL RONDÁN SEVILLA, PEDRO TRAPERO FERNÁNDEZ, FRANCISCO JAVIER CATALÁN GONZÁLEZ & MANUEL RUIZ BARROSO El establecimiento rústico alto-imperial de Miramundo (Puerto Real, Cádiz). Un caso de estudio mediante combinación de técnicas de investigación no invasivas <i>The early roman empire rural settlement of Miramundo (Puerto Real, Cádiz).</i> <i>A case study using combined non-invasive research techniques</i> . . . . .	57
JENNY PÉREZ-MARRERO, DOMINGO MARTÍN MOCHALES, JOSÉ-ANTONIO RUIZ GIL, LÁZARO LAGÓSTENA BARRIOS, PEDRO TRAPERO FERNÁNDEZ, FRANCISCO JAVIER CATALÁN GONZÁLEZ, ISABEL RONDÁN SEVILLA & MANUEL RUIZ BARROSO Exploración geofísica GPR en dos iglesias renacentistas andaluzas: San Sebastián de Puerto Real (Cádiz) y San Sebastián de Estepa (sevilla) <i>GPR geophysical survey in two andalusian renaissance churches: San Sebastián, from Puerto Real (Cádiz)</i> <i>and San Sebastián from Estepa (Sevilla)</i> . . . . .	65
RUBÉN PARRILLA-GIRÁLDEZ, LYDIA CALLE ROMÁN, MIGUEL CORTÉS SÁNCHEZ, MARÍA D. SIMÓN VALLEJO & JOSÉ ANTONIO RIQUELME CANTAL Análisis de imagen para la detección de pigmentos y grabados. Cueva de las Ventanas (Piñar, Granada) <i>Digital image processing for pigments and engravings detection, Las Ventanas Cave (Piñar, Granada)</i> . . . . .	73
CLODOALDO ROLDÁN GARCÍA, SONIA MURCIA MASCARÓS, DAVID JUANES BARBER, GRETA GARCÍA HERNÁNDEZ & PILAR INEBA TAMARIT Metodologías no invasivas aplicadas al estudio del retablo “La Virgen de la Sapiencia” (s. XVI) <i>Noninvasive methodologies applied to the study of the altarpiece “La Virgen de la Sapiencia” (16<sup>th</sup> century)</i> . . . . .	81

## APRESENTAÇÃO

A décima terceira edição do Congresso Ibérico de Arqueometria (XIII CIA), organizada em cooperação pelo Interdisciplinary Center for Archaeology and Evolution of Human Behaviour (ICArEHB) da Universidade do Algarve, o Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN) do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, o Departamento de Prehistoria y Arqueología da Universidad de Sevilla, e a Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultural (SAPaC), decorreu em Faro de 16 a 19 de outubro de 2019 na Universidade do Algarve, *Campus* de Gambelas.

Esta reunião bianual da Comunidade Ibérica de Arqueometria visou a apresentação, exploração e discussão dos últimos desenvolvimentos técnicos, problemáticas emergentes, assim como desafios futuros inerentes ao estudo de materiais, contribuindo para a valorização do património cultural. As comunicações abrangeram diferentes materiais e temáticas: cerâmica, pigmentos, metais, matérias-primas, geofísica, análises espaciais, estudos isotópicos, datação, imagem e modelação 3D e outras áreas relacionadas com as temáticas do congresso.

Neste volume dos *Estudos Arqueológicos de Oeiras* (EAO), órgão científico do Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras/Câmara Municipal de Oeiras, apresentam-se os trabalhos submetidos para publicação pelos respectivos autores.

Embora o presente volume ilustre apenas uma parte das comunicações do XIII CIA, as problemáticas abordadas nos diversos contributos representam de forma fidedigna os interesses e rumo da investigação arqueométrica na atualidade.

Queremos felicitar todos os que participaram no XIII Congresso Ibérico de Arqueometria pelo seu interesse e dedicação dispensada ao estudo do património cultural, difusão e partilha de experiências, conhecimentos e resultados da investigação científica, e especialmente aos que contribuíram para o enriquecimento da obra agora editada.

Ao Senhor Presidente da Câmara Municipal de Oeiras, Dr. Isaltino Morais, agradece-se o pronto acolhimento da publicação desta obra nas páginas da prestigiada revista “Estudos Arqueológicos de Oeiras” permitindo, por um lado, a sua adequada difusão nacional e internacional, ao mesmo tempo que enriquecerá o interesse, o impacto científico e a temática da própria revista, que já anteriormente tinha acolhido a publicação das Actas do IX Congresso Ibérico de Arqueometria, que constitui o volume 19 dos *Estudos Arqueológicos de Oeiras* publicado em 2012.

Pela Comissão organizadora do XIII CIA, Presidência da SAPaC  
e comissão editorial deste volume dos Estudos Arqueológicos de Oeiras,

CÉLIA GONÇALVES

(Interdisciplinary Center for Archaeology and Evolution of Human Behaviour, Universidade do Algarve, Portugal)

DANIEL GARCÍA RIVERO

(Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla, Espanha)

M. ISABEL DIAS

(Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

NUNO BICHO

(Interdisciplinary Center for Archaeology and Evolution of Human Behaviour, Universidade do Algarve, Portugal)

RUTH TAYLOR

(Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla, Espanha)

MANUEL GARCÍA-HERAS

(Instituto de Historia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Espanha)

JOÃO LUÍS CARDOSO

(Universidade Aberta, Interdisciplinary Center for Archaeology and Evolution of Human Behaviour e Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras/Câmara Municipal de Oeiras, Portugal)

Faro, 30 de abril de 2021

## **LA SOCIEDAD DE ARQUEOMETRÍA APLICADA AL PATRIMONIO CULTURAL (SAPAC) Y LOS CONGRESOS DE ARQUEOMETRÍA IBÉRICA (CIA)**

### ***THE SOCIETY OF ARCHAEOLOGY APPLIED TO CULTURAL HERITAGE (SAPAC) AND THE IBERIAN ARCHAEOLOGY CONGRESSES (CIA)***

Manuel García-Heras<sup>1</sup>

#### **Abstract**

Main goals of the Society of Archaeometry applied to Cultural Heritage (SAPaC) are described in this paper. It is also carried out a bibliometric analysis of the thirteen editions of the Archaeometry Congresses, four as a national congress and nine as an Iberian congress, which this society has promoted and held throughout the last 26 years. The 976 contributions presented up to now at these congresses include studies on biomaterials and palaeoenvironmental studies, dating, studies on lithic, ceramics, metals and glass materials, pigments, built heritage and conservation, studies on remote sensing and prospection, and analysis of 3D images. The results of the analysis confirm a high multidisciplinary component in the contributions, as well as a notable growth in collaborations between specialists from Portugal and Spain, which show a promising future for archeometric research in the Iberian community.

*Keywords:* Archaeometry, SAPaC, Iberian Archaeometry Congresses.

## **1 – INTRODUCCIÓN**

La Sociedad de Arqueometría aplicada al Patrimonio Cultural (SAPaC) es una asociación sin ánimo de lucro que fue creada en 1997 a partir de su inscripción en el Registro Nacional de Asociaciones del Ministerio del Interior español (núm. de inscripción 162456 de 16 de junio de 1997, N.I.F. G-50714369). Los objetivos principales de la SAPaC son promover, difundir e intercambiar conocimientos y resultados de la investigación científica sobre aplicación de técnicas arqueométricas al Patrimonio Cultural; difundir en el ámbito científico, humanístico, cultural y administrativo las posibilidades y resultados de la Arqueometría; y estimular la cooperación interdisciplinar entre Historia, Arqueología y Ciencias Experimentales. Para cumplir estos objetivos los Estatutos de la SAPaC (<https://www.sapac.es/info/estatutos.php>, consulta 04-01-2021) indican que se realizarán reuniones periódicas entre los miembros de la sociedad mediante la organización de congresos y conferencias.

Los congresos que promueve la SAPaC se celebran bianualmente y de forma periódica desde el año 1995. En un principio se denominaron Congresos Nacionales de Arqueometría, hasta que en la quinta edición celebrada en El Puerto de Santa María (Cádiz) en el año 2003 y por acuerdo de sus miembros, pasaron a denominarse Congresos Ibéricos de Arqueometría para integrar también en estos congresos a los investigadores de

---

<sup>1</sup> Presidente de SAPaC. Instituto de Historia, CSIC. Madrid, España.

Portugal. Asimismo, desde la novena edición celebrada en Lisboa en 2011, los congresos alternan, bianualmente, una ciudad portuguesa y una ciudad española en cada edición. Además, desde la quinta edición de 2003, los idiomas oficiales de estos congresos son tanto el portugués como el español. Habitualmente, la organización de los congresos corre a cargo de una institución universitaria u organismo de investigación, cuya candidatura es aprobada por la Junta Directiva que actúa a su vez como coorganizadora de los mismos.

En la actualidad la SAPaC cuenta con un total de 139 socios y se gobierna a través de una Junta Directiva elegida cada cuatro años en Asamblea General entre las candidaturas presentadas tanto por sus socios como por organismos e instituciones externas a la sociedad. Dicha Junta Directiva está integrada por una Presidencia, una Secretaría que actúa también como Tesorería, y cuatro vocalías, todos ellos cargos que cuentan con miembros de ambos países. Las principales áreas de investigación de la SAPaC comprenden estudios sobre biomateriales y estudios paleoambientales, datación, estudios sobre materiales líticos, cerámicos, metales y vidrio, pigmentos, patrimonio construido y conservación, estudios sobre teledetección y prospección y análisis de imágenes en 3D.

## 2 – LOS CONGRESOS DE ARQUEOMETRÍA: EL CAMINO RECORRIDO

En los 26 años transcurridos entre 1995 y 2020 se han celebrado un total de 13 ediciones de los Congresos de Arqueometría, el último de los cuales realizado en Faro en octubre de 2019 (Fig. 1). Hasta la décimo primera edición celebrada en Évora en 2015, una selección de las contribuciones se venía publicando en las actas que se editaban una vez celebrados los congresos (GARCÍA-HERAS, 2017). Sin embargo, a partir de la décimo segunda edición celebrada en Burgos en 2017, la Asamblea General aprobó que las contribuciones se editaran como “extended abstracts” o resúmenes extendidos y que los respectivos organizadores decidieran la conveniencia o no de editar un volumen de actas con una selección de las contribuciones presentadas. En la décimo segunda edición de 2017 (Burgos), por problemas internos de los organizadores locales, solo se publicaron los resúmenes de las contribuciones presentadas, mientras que una selección de las presentadas en la décimo tercera edición celebrada en Faro en 2019 que lo han considerado conveniente, son las que aparecen en las páginas siguientes del presente volumen de Estudios Arqueológicos de Oeiras.

En la página web de la SAPaC (<https://www.sapac.es>) se ofrecen enlaces a las ediciones digitales de las actas y resúmenes de los congresos desde la sexta edición de 2005. En esta página web también se ofrece acceso a diferentes publicaciones de los socios.

En las trece ediciones de los Congresos de Arqueometría, cuatro como congreso nacional y nueve como congreso ibérico, se han presentado un total de 976 contribuciones entre las que se incluyen ponencias invitadas, comunicaciones orales y pósteres. La distribución de estas contribuciones puede consultarse en la Tabla 1.

El análisis bibliométrico de las contribuciones de los once congresos que editaron sus actas (CAPEL MARTÍNEZ, 1999; PÉREZ ARANTEGUI *et al.*, 1999; GÓMEZ TUBÍO *et al.*, 2001; ROLDÁN GARCÍA, 2002; FELIÚ ORTEGA *et al.*, 2004; MOLERA *et al.*, 2005; ROVIRA *et al.*, 2008; SAIZ CARRASCO *et al.*, 2010; DIAS y CARDOSO, 2012; JUANES BARBER y ROLDÁN GARCÍA, 2014; LOPES, 2016, 2017) indica que solo se publican en las actas un 50,7% de las contribuciones, es decir, solo se publican aproximadamente la mitad de las presentadas en los congresos. En las contribuciones destaca un elevado componente multidisciplinar desde las primeras ediciones, el cual representa casi la mitad (46,3%) de los trabajos publicados, frente a contribuciones firmadas solo por especialistas en humanidades (29,1%) o ciencias experimentales (24,6%). Este componente multidisciplinar muestra un mayor crecimiento a partir de la séptima edición celebrada en Madrid en 2007 como se puede apreciar en la Fig. 2.



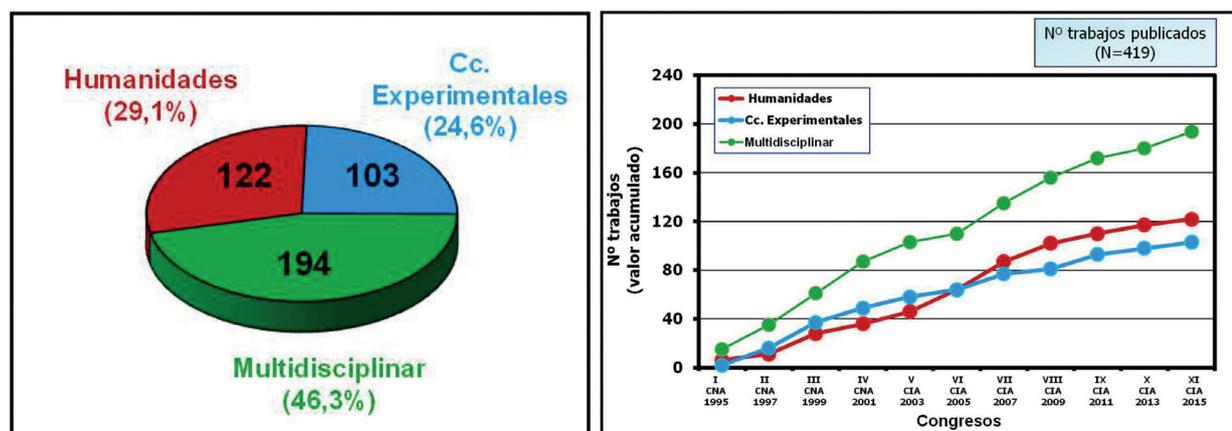
Fig. 1 – Portadas de las actas y libros de resúmenes de las trece ediciones de los Congresos de Arqueometría de la SAPaC.

**Tabla 1** – Contribuciones presentadas en las trece ediciones de los Congresos de Arqueometría de la SAPaC.

Congreso	Contribuciones presentadas	Contribuciones publicadas
I CNA (Granada, 1995)	42	23
II CNA (Zaragoza, 1997)	66	39
III CNA (Sevilla, 1999)	73	64
IV CNA (Valencia, 2001)	50	46
V CIA (El Puerto de Sta. María, Cádiz, 2003)	72	35
VI CIA (Girona, 2005)	51	31
VII CIA (Madrid, 2007)	112	61
VIII CIA (Teruel, 2009)	86	40
IX CIA (Lisboa, 2011)	95	36
X CIA (Castellón, 2013)	68	20
XI CIA (Évora, 2015)	111	24
XII CIA (Burgos, 2017)	76	—
XIII CIA (Faro, 2019)	74	9
<b>Total</b>	<b>976</b>	<b>428</b>

CNA: Congreso Nacional de Arqueometría.

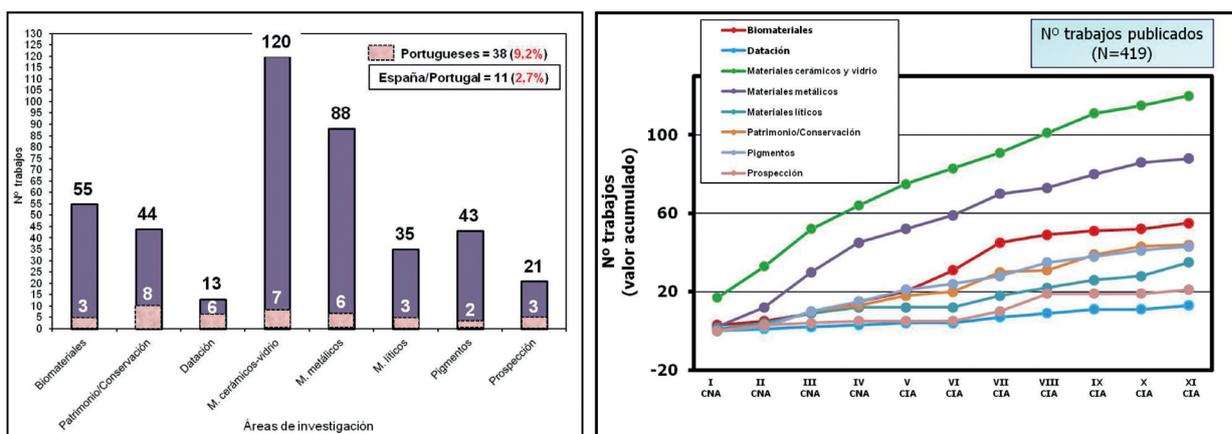
CIA: Congreso Ibérico de Arqueometría.



**Fig. 2** – Componente multidisciplinar de las contribuciones publicadas en los once congresos que editaron sus actas.

Las áreas de investigación más representadas son materiales cerámicos y vidrio (120 trabajos) y materiales metálicos (88 trabajos), seguidas de biomateriales y estudios paleoambientales (55 trabajos), patrimonio construido y conservación (44 trabajos), pigmentos (43 trabajos) y materiales líticos (35 trabajos). Las áreas de investigación menos representadas hasta el momento son teledetección y prospección (21 trabajos) y datación (13 trabajos) (Fig. 3). Hasta la sexta edición celebrada en Girona en 2005, se publican mayoritariamente contribuciones sobre materiales cerámicos y metales, mientras que a partir de la séptima edición celebrada en Madrid en 2007 se produce un aumento de contribuciones en todas las áreas de investigación.

Excepto en la quinta edición celebrada en El Puerto de Santa María (Cádiz) en 2003 y en la décima edición celebrada en Castellón en 2013, hay trabajos de autoría portuguesa en todas las ediciones. No obstante, el



**Fig. 3 – Autoría portuguesa/española, colaboraciones entre ambos países y áreas de investigación de las contribuciones publicadas en los once congresos que editaron sus actas.**

número de trabajos es todavía reducido ya que solo representan el 9,2% del total. Asimismo, las colaboraciones entre especialistas de Portugal y España son igualmente reducidas: 2,7% de los trabajos publicados (Fig. 3). En cualquier caso, el número más elevado de contribuciones de autoría portuguesa coincide con las ediciones celebradas en territorio portugués.

Las contribuciones publicadas también muestran colaboraciones con doce países de fuera de la Península Ibérica, principalmente de Europa y América. Francia es el país con el que se han realizado un mayor número de colaboraciones: 13. La distribución de estas contribuciones puede consultarse en la Tabla 2.

La misma tendencia se observa en las contribuciones de las dos últimas ediciones décimo segunda y décimo tercera celebradas en Burgos en 2017 y en Faro en 2019 respecto a las áreas de investigación de los trabajos presentados (Fig. 4), aunque los datos no son comparables ya que en este caso proceden de las contribuciones totales presentadas en los respectivos congresos y no de las contribuciones finalmente publicadas.

**Tabla 2 – Colaboraciones con otros países en las contribuciones publicadas en los once congresos que editaron sus actas.**

País	N° de trabajos
1. Alemania	1
2. Argentina	5
3. Cuba	1
4. Ecuador	1
5. EE.UU.	2
6. Francia	13
7. Italia	7
8. Marruecos	1
9. México	2
10. Polonia	2
11. Reino Unido	4
12. Turquía	2
<b>Total</b>	<b>41</b>

No obstante, hay que señalar que las contribuciones de autoría portuguesa han experimentado un aumento relativo y ya representan el 28% del total de las contribuciones presentadas. Asimismo, las colaboraciones entre especialistas de Portugal y España también han aumentado hasta situarse en un 5,3% de las contribuciones presentadas. Respecto a las áreas de investigación de los trabajos, señalar que desde la décimo segunda edición celebrada en Burgos en 2017 se ha dado cabida también a trabajos de una nueva área de investigación como es la relacionada con el análisis de imágenes en 3D, en la que se han presentado hasta 17 contribuciones en las dos últimas ediciones de 2017 (Burgos) y 2019 (Faro) (Fig. 4).

Por otro lado, las colaboraciones con países de fuera de la Península Ibérica se mantienen, en términos relativos, en cifras muy similares: once países. Los países con los que se colabora son igualmente de Europa y América, y Francia continúa siendo el país con el que se han realizado un mayor número de colaboraciones: 12. La distribución de estas contribuciones puede consultarse en la Tabla 3.

### 3 – LOS CONGRESOS DE ARQUEOMETRÍA: EL CAMINO POR RECORRER

La celebración de un total de 13 ediciones de los Congresos de Arqueometría, en los que se han presentado hasta la fecha cerca de un millar de contribuciones, demuestra que la SAPaC ha cumplido con éxito sus objetivos principales de promover, difundir e intercambiar conocimientos y resultados de la investigación científica sobre aplicación de técnicas arqueométricas al Patrimonio Cultural, y estimular la cooperación interdisciplinar entre Historia, Arqueología y Ciencias Experimentales. Estos congresos demuestran también que la investigación arqueométrica se ha convertido en un componente necesario y esencial en el estudio integral del Patrimonio Cultural y que son un foro consolidado de discusión y debate de los últimos avances en investigación arqueométrica llevados a cabo en el ámbito de la Península Ibérica. La fórmula de congresos bianuales,

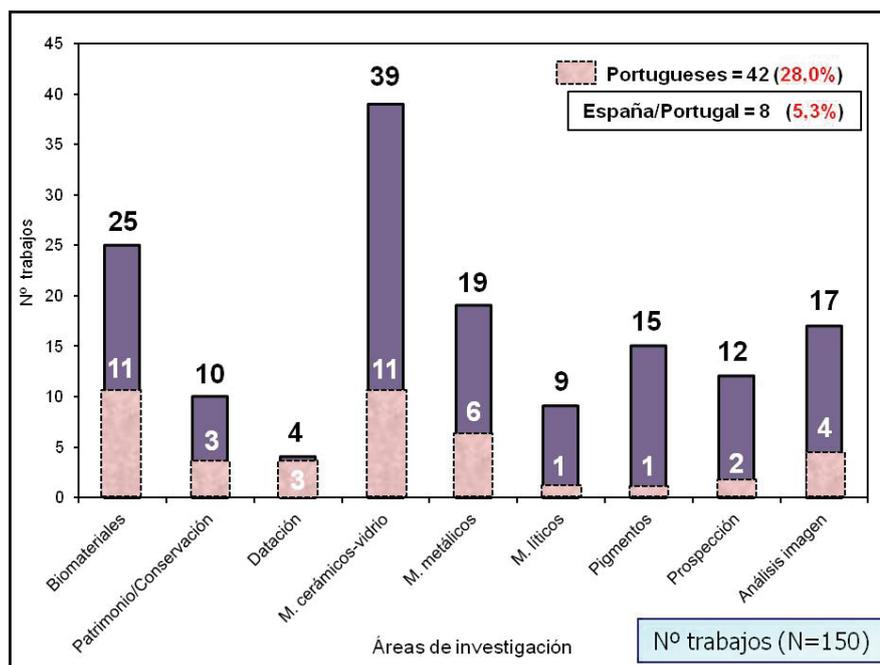


Fig. 4 – Autoría portuguesa/española, colaboraciones entre ambos países y áreas de investigación de las contribuciones de los resúmenes de las ediciones décimo segunda (Burgos, 2017) y décimo tercera (Faro, 2019).

**Tabla 3** – Colaboraciones con otros países en las contribuciones de los resúmenes de las ediciones décimo segunda (Burgos, 2017) y décimo tercera (Faro, 2019).

<b>País</b>	<b>Nº de trabajos</b>
1. Alemania	1
2. Argentina	3
3. Brasil	1
4. EE.UU.	5
5. Francia	12
6. Israel	1
7. Italia	5
8. México	1
9. Perú	1
10. Polonia	1
11. Reino Unido	3
<b>Total</b>	<b>34</b>

alternando una ciudad portuguesa y una ciudad española en cada edición, ha dado buenos resultados por lo que debe seguir perseverándose en ella en la celebración de próximas ediciones. Se hace necesario, asimismo, seguir insistiendo en el componente multidisciplinar de las contribuciones para poder llegar a aumentar el número de las verdaderamente interdisciplinarias, esto es, aquellas en las que se desarrolla en toda su extensión la naturaleza misma de la Arqueometría, que no es otra que la interacción completa entre Humanidades y Ciencias Experimentales en el estudio integral del Patrimonio Cultural.

En el camino por recorrer debe ser importante también seguir apoyando la participación de colegas portugueses y, sobre todo y especialmente, las colaboraciones entre profesionales de ambos países de la Península Ibérica, así como intentar que las contribuciones que se presenten a estos congresos cumplan con unos requisitos mínimos de calidad científica y técnica.

Las trece ediciones celebradas hasta el momento de los Congresos de Arqueometría Ibérica pueden servir no solo para hacer un balance de la trayectoria y de la situación actual de la investigación ibérica en Arqueometría, sino también para encarar los actuales desafíos que tiene planteados esta disciplina. Sin duda todo ello debe contribuir a trazar un futuro prometedor para la investigación arqueométrica de la comunidad ibérica en los próximos años.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor desea expresar su agradecimiento a los miembros de la actual Junta Directiva de la SAPaC: Clodoaldo Roldán García (Secretario y Tesorero), María Isabel Marques Dias (Vocal 1), Cristina María Barrocas Dias (Vocal 2), Josefina Pérez Arantegui (Vocal 3) y Blanca Gómez Tubío (Vocal 4). También desea agradecer el esfuerzo y dedicación de todas aquellas personas que han hecho posible a lo largo de los años la celebración de los Congresos de Arqueometría Ibérica y, muy especialmente, a todas aquellas que han contribuido con sus presentaciones al éxito de estas reuniones.

## REFERÈNCIES

- CAPEL MARTÍNEZ, J. (ed.) (1999) – *Arqueometría y Arqueología*. Granada: Universidad de Granada, Serie Monográfica Arte y Arqueología.
- DIAS, M.<sup>a</sup> I.; CARDOSO, J. L. (eds.) (2012) – *Actas do IX Congresso Ibérico de Arqueometria*. Oeiras: Instituto Tecnológico e Nuclear, SAPaC y Cámara Municipal de Oeiras, Estudos Arqueológicos de Oeiras, Vol. 19.
- FELIÚ ORTEGA, M.<sup>a</sup> J.; MARTÍN CALLEJA, J.; EDREIRA SÁNCHEZ, M.<sup>a</sup> C.; FERNÁNDEZ LORENZO, M.<sup>a</sup> C.; MARTÍNEZ BRELL, M.<sup>a</sup> P.; GIL MONTERO, A.; ALCÁNTARA PUERTO, R. (eds.) (2004) – *Avances en Arqueometría 2003. V Congreso Ibérico de Arqueometría*. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- GARCÍA-HERAS, M. (2017) – 20 años de Congresos de Arqueometría: el camino recorrido y el que falta por recorrer. (<https://www.sapac.es/recursos/publicacion.php?cod=9a54218562a21629d17cb5cf21ee9a3b>, consulta 04-01-2021).
- GÓMEZ TUBÍO, B.; RESPALDIZA, M. Á., PARDO RODRÍGUEZ, M.<sup>a</sup> L. (eds.) (2001) – *III Congreso Nacional de Arqueometría*. Sevilla: Universidad de Sevilla y Fundación El Monte.
- JUANES BARBER, D.; ROLDÁN GARCÍA, C. (coords.) (2014) – *Actas X Congreso Ibérico de Arqueometría*. Valencia: Generalitat Valenciana, Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R de Cultura y Arts.
- LOPES, M. da C. (ed.) (2016) – *Actas do IX Congresso Ibérico de Arqueometria*. Coimbra: Universidade de Coimbra, digitAR: Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Arte, núm. 3.
- LOPES, M. da C. (ed.) (2017) – *Actas do IX Congresso Ibérico de Arqueometria*. Coimbra: Universidade de Coimbra, digitAR: Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Arte, núm. 4.
- MOLERA i MARIMÓN, J.; FARJAS i SILVA, J.; ROURA i GRABULOSA, P.; PRADELL i CARA, T. (eds.) (2005) – *Avances en Arqueometría 2005. VI Congreso Ibérico de Arqueometría*. Girona: Universitat de Girona.
- PÉREZ ARANTEGUI, J.; LAPUENTE MERCADAL, M.<sup>a</sup> P.; AGUAROD OTAL, C.; CASTILLO SUÁREZ, J. R. (eds.) (1999) – *II Congreso Nacional de Arqueometría*. Zaragoza: Diputación de Zaragoza, Institución Fernando El Católico, Caesaraugusta, núm. 73.
- ROLDÁN GARCÍA, C. (ed.) (2002) – *IV Congreso Nacional de Arqueometría*. Valencia: Universitat de València, Institut de Ciència dels Materials, CD-ROM.
- ROVIRA LLORENS, S.; GARCÍA-HERAS, M.; GENER MORET, M.; MONTERO RUIZ, I. (eds.) (2008) – *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC.
- SAIZ CARRASCO, M.<sup>a</sup> E.; LÓPEZ ROMERO, R.; CANO DÍAZ-TERNERO, M.<sup>a</sup> A.; CALVO GRACÍA, J. C. (eds.) (2010) – *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría. Actas*. Teruel: Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, Gobierno de Aragón.

## **CERÂMICAS CALCOLÍTICAS DE VILA NOVA DE SÃO PEDRO (REGIÃO DE LISBOA) – CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL E QUÍMICA**

### ***CHALCOLITHIC CERAMICS FROM VILA NOVA DE SÃO PEDRO (LISBON REGION) – TEXTURAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION***

Rute Correia Chaves<sup>1</sup>, João Pedro Veiga<sup>2</sup> & António Monge Soares<sup>3</sup>

#### **Abstract**

The archaeological site of Vila Nova de São Pedro, Lisbon region, is a Chalcolithic fortified settlement extensively excavated in the last century, being one of the best known settlements in the Iberian Peninsula with this chronology. Early Chalcolithic pottery is characterized by cylindrical cups with polished corrugated outer surface, while the so-called acacia-leaf decoration is usual in Full Chalcolithic pottery. The Late Chalcolithic corresponds to the Bell Beaker culture with a very characteristic pottery decoration. The objective of this work is the characterization of Chalcolithic ceramics from the Lisbon region in order to expand our knowledge of prehistoric ceramics and production techniques. 74 ceramic shards were analyzed (26 samples of cups with corrugated outer surface, 22 with acacia leaf decoration, and 26 from Beaker vessels).

Textural analysis using Optical Microscopy of cross sections allowed to characterize pastes and inclusions. Chemical characterization was undertaken using Micro Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry in powder pellets. The elements Si, Al, Fe, Ca and K were identified and quantified as major elements, Ti and Mn as minor, and Ce, Sr, Zn, Cr, Rb, Co and Th as trace elements. Results suggest three different sources of raw material, two of them used for the Early Chalcolithic ceramics, one of these two continued in use for acacia-leaf pottery, and the third source was used mainly for the production of Beaker ceramics. On the other hand, textural analysis shows that production techniques may have remained similar throughout all the Chalcolithic period.

*Keywords:* Ceramics,  $\mu$ -EDXRF, Optical Microscopy, Vila Nova de São Pedro, Lisbon region

## **1 – INTRODUÇÃO**

O estudo arqueométrico de cerâmicas, tendo por base a sua caracterização textural e química, é um campo ainda pouco utilizado em Portugal, nomeadamente no que se refere a cerâmicas pré-históricas.

---

<sup>1</sup> Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal.

Unidade de Investigação VICARTE – Vidro e Cerâmica para as Artes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal. [rutecorreiachaves@gmail.com](mailto:rutecorreiachaves@gmail.com)

<sup>2</sup> CENIMAT/i3N, Departamento de Ciência dos Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal.

<sup>3</sup> C2TN – Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10 (km 139,7), 2695-066 Bobadela LRS, Portugal.

A investigação arqueológica sobre as tipologias das cerâmicas calcolíticas, bem como sobre as suas decorações e tamanhos, tem-se desenvolvido nestes últimos tempos; contudo, ainda muito pouco se sabe sobre a sua manufatura, significado das formas e decorações e, quase nada, sobre a sua funcionalidade (AMARO, 2011). Os estudos arqueométricos são cada vez mais necessários para a interpretação dos artefactos cerâmicos, pois possibilitam o acesso a dados importantes sobre as tecnologias de antigas comunidades, revelando-se particularmente relevantes para o conhecimento sobre a produção e distribuição destes materiais no passado (SILVA *et al.*, 2004).

A cerâmica arqueológica aqui estudada é proveniente do povoado calcolítico fortificado de Vila Nova de São Pedro (VNSP), Azambuja (região de Lisboa). VNSP é um importante sítio arqueológico, localizado a cerca de 100 m de altitude num planalto de calcários miocénicos, perto da ribeira de Almoester, tendo sido extensamente escavado em meados do século passado. A sua localização privilegiada, não apenas em termos de defesa, mas também em recursos, contribuiu para o sucesso desta comunidade, que se estabeleceu ali por vários séculos, durante todo o Calcolítico. VNSP constitui um dos mais importantes e conhecidos sítios arqueológicos desta época (ARNAUD & FERNANDES, 2005).

O Calcolítico da região de Lisboa é usualmente dividido em três períodos cronológico-culturais caracterizados, entre outros indicadores, pelas tipologias da decoração cerâmica:

- Calcolítico Inicial, correspondente ao final do IV início do III milénio a.C., é caracterizado por copos cilíndricos com a superfície externa canelada e polida, os designados copos canelados.
- Calcolítico Pleno, correspondente à 1ª metade do III milénio a.C., a que se associa a cerâmica com decoração folha-de-acácia.
- Calcolítico Final, correspondente à 2ª metade do III milénio a.C., com a presença de cerâmica campaniforme.

O objetivo do presente trabalho consistiu na caracterização química e textural de 74 amostras cerâmicas destes três períodos cronológicos, provenientes das escavações arqueológicas realizadas em VNSP no século passado e depositadas nas reservas do Museu Arqueológico do Carmo (Associação dos Arqueólogos Portugueses), com vista a expandir o conhecimento sobre a cerâmica pré-histórica, nomeadamente se as matérias-primas e as técnicas de produção em uso nesta região se mantiveram as mesmas ao longo do tempo.

Os resultados aqui apresentados correspondem a parte da Tese de Doutoramento “Cerâmica Calcolítica da Região de Lisboa – Caracterização Arqueométrica de Cerâmica Pré-Histórica”, que se encontra em desenvolvimento pela primeira autora deste trabalho.

## **2 – MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 – Os fragmentos cerâmicos**

Foi analisado um conjunto de 74 fragmentos cerâmicos correspondentes aos três períodos cronológico-culturais em causa: 26 fragmentos de copos canelados, 22 de cerâmica com decoração em folha-de-acácia e, por fim, 26 fragmentos de cerâmica campaniforme. Os materiais encontravam-se, como já referido, depositados nas reservas do Museu Arqueológico do Carmo. Foram primeiramente devidamente limpos, fotografados em detalhe, inventariados (VNSP-1 a 74), desenhados e descritos. Após esta tarefa inicial, procedeu-se à prepa-

ração das amostras consoante o tipo de análises a realizar: secções transversais polidas, para observação à lupa binocular, e pastilhas de pó comprimido, para análise química por Micro-Fluorescência de Raios-X Dispersiva de Energias ( $\mu$ -EDXRF).

## 2.2 – Caracterização Textural

A caracterização textural foi realizada a partir de uma análise macroscópica e também microscópica. A análise macroscópica dos fragmentos e de fotografias detalhadas dos mesmos, permitiu avaliar as decorações, formas dos recipientes (quando possível), a cor da pasta e os acabamentos de superfície. Por sua vez, a análise microscópica em secções transversais polidas permitiu determinar a distribuição, tamanho, geometria e percentagem de inclusões (elementos não plásticos). Esta observação foi feita através de fotografias com ampliações de 7,5x e 20x, através da Lupa Binocular *Zeiss, SteREO Discovery, V20*, com possibilidade de ampliações entre 7,5x e 150x, e registo de imagem com *AxioCam ERc5s*. Recorrendo às ferramentas do programa de edição *Adobe Photoshop®*, foi possível determinar o tamanho e percentagem de inclusões presentes na matriz cerâmica. Neste processo consideraram-se inclusões não-plásticas aquelas cujo tamanho era superior a 0,01 mm (CABRAL, 1991).

## 2.3 – Caracterização Química

A caracterização química permitiu tanto identificar como quantificar os óxidos presentes nas amostras. Esta análise foi realizada através de  $\mu$ -EDXRF com um espectrómetro *ARTAX 800*, equipado com uma âmpola de molibdénio, com potencial máximo de 50 kV, intensidade máxima de corrente de 1 mA e potência máxima de 30 W. O feixe incidente possui um diâmetro de ca. 70  $\mu$ m. O detetor é um semi-condutor de silício com uma resolução de 160 eV a 5,9 keV. O braço articulado do equipamento encontra-se equipado com uma câmara de vídeo e um laser de diodo vermelho, o que permite não só a escolha da área a analisar, mas também fixar a distância correta do detetor à superfície em análise. A interpretação dos espectros obtidos é efetuada por meio de um computador acoplado ao equipamento, através do programa *AriTAX Spectra Software*. O equipamento permite detetar e quantificar os elementos compreendidos entre o alumínio e o urânio, inclusive.

A análise foi efectuada em pastilhas de pó comprimido e, para a sua realização, foram recolhidos 1-2 g de cada fragmento cerâmico, utilizando um disco de corte diamantado de 38 mm (*Dremel*). Anteriormente à moagem de cada amostra, foi feita a remoção da camada superficial (superfícies externa, interna e de fraturas antigas) do fragmento cerâmico com lixa de óxido de alumínio (*Dremel*). Procedeu-se, a seguir, a uma descontaminação final das amostras através da lavagem com água destilada e escovagem com o auxílio de uma escova suave. Por fim, as amostras foram secas na estufa a 90°C. A moagem foi feita em moinho elétrico de esferas de ágata, durante pelo menos 45 minutos a 450 rpm, até à obtenção de um pó com uma granulometria de 63  $\mu$ m, inferior às dimensões do feixe de raios X utilizado. Deste modo, procurou-se minimizar a possibilidade de incidência do feixe sobre uma inclusão de dimensão superior à do diâmetro do feixe. Para a obtenção da pastilha foram utilizados cerca de 300 mg de pó e uma pressão de 10 ton, durante 5 minutos. Antes de efetuar cada análise, as pastilhas foram secas durante 2 horas a 140°C, a fim de evitar a interferência da humidade nos resultados a obter. Em cada pastilha foram realizadas três medições, com as seguintes condições de análise: atmosfera de hélio, voltagem de 40 kV, corrente de 600  $\mu$ A, tempo de aquisição de

300 s. A desconvolução dos espectros foi realizada com recurso ao programa *WinAxil* e a quantificação com o programa *WinFund*. Para a calibração foi usada uma pastilha do padrão NIST Brick Clay SRM 679, tratada da mesma forma que as amostras. O erro associado ao resultado da análise é inferior a 6% para os óxidos de silício, ferro, alumínio, cálcio, potássio, titânio e zinco, inferior a 11% para o de manganês, e entre 20% e 40% para os restantes elementos.

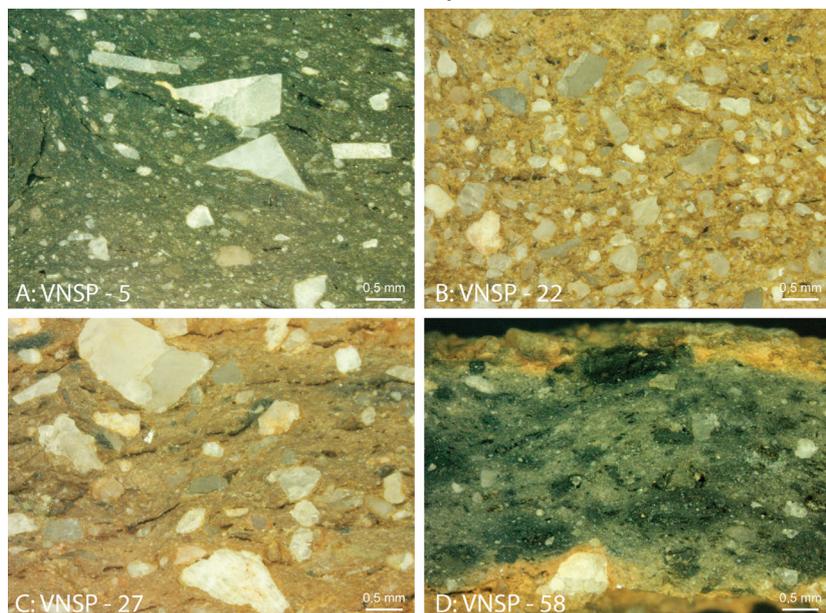
## 2.4 – Análise Estatística

A fim de se obter uma melhor interpretação dos resultados obtidos foi realizada uma análise estatística fazendo uso do programa *R versão 3.6.1*. Procedeu-se, assim, a uma análise multivariada, tendo os dados de partida sido transformados de forma a simplificar e realçar as relações entre as variáveis através da análise de um menor número de características ou fatores. Foram usadas duas ferramentas: a classificação hierárquica ascendente (AHC) e a análise em componentes principais (PCA).

A classificação hierárquica ascendente (AHC) é um método de agrupamento das amostras em conjuntos, no nosso caso com base nas concentrações elementares obtidas pela análise química, e do qual resultam gráficos com uma estrutura em árvore (dendogramas). A configuração do dendograma é definida automaticamente consoante os coeficientes de semelhança entre os grupos, permitindo determinar quais as amostras que têm maior relação entre si, isto é, a que correspondem menores distâncias euclidianas entre si (JOHNSON & WICHERN, 1982), utilizando-se para esse fim o método Ward (WARD, 1963).

Na análise em componentes principais, com o método de elipse a 0.5%, a partir das 14 variáveis (óxidos) que foram quantificadas obtiveram-se os componentes principais (PC's). A PCA consiste num método de análise de dados que permite transformar um conjunto de variáveis originais não correlacionadas (independentes) num novo conjunto de variáveis intercorrelacionadas as PC's, que não são mais que combinações lineares das variáveis originais. A principal vantagem deste método é o da simplificação da estrutura de dados, através da transformação das variáveis

correlacionadas em duas, ou mais, componentes principais, que vão representar a informação original. Existe sempre a questão de saber até quantas PC's devemos usar. Normalmente usam-se os três primeiros componentes principais, mas não existe uma resposta definitiva, devendo considerar-se “...the amount of total sample variance explained, the relative sizes of the eigenvalues (the variances of the sample components), and the subject-matter interpretations of the components.” (JOHNSON & WICHERN, 1982, p. 444).



**Fig. 1** – Secções transversais de algumas amostras.

A – VNSP-5 (cerâmica canelada); B – VNSP 22 (cerâmica canelada);  
C – VNSP-27 (folha-de-acácia); D – VNSP-58 (campaniforme).

### 3 – RESULTADOS

#### 3.1 – Análise Textural

Na Fig. 1 podem observar-se secções transversais de algumas amostras, as quais se podem considerar como exemplo da variedade do conjunto, enquanto que no Quadro 1 se apresenta um resumo dos resultados da análise textural.

**Quadro 1** – Sumário da caracterização textural.

	<b>Canelada N=26</b>	<b>Folha-de -Acácia N=22</b>	<b>Campaniforme N=26</b>
<b>Cor da pasta</b>	Maioritariamente uma gama de castanhos	Maioritariamente uma gama de cinzentos	Maioritariamente com núcleo negro e superfícies laranja
Percentagem	29%	26%	20%
Distribuição	Não uniforme	Não uniforme	Não uniforme
<b>Inclusões</b>			
Tamanho do grão	Maioritariamente fino (89% fino)	Fino a pequeno (50% fino e 50% pequeno)	Maioritariamente fino (57,5% fino)
Geometria	Subangular a subrolado (69% subrolado)	Subangular a subrolado (73% subangular)	Subangular a subrolado (54% subangular)

#### 3.2 – Análise Química

No Quadro 2 são apresentadas as concentrações médias dos óxidos obtidas com a análise química efetuada.

**Quadro 2** – Concentração média dos óxidos para cada tipologia decorativa.

		% (m/m)						ppm							
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CoO	ZnO	Rb <sub>2</sub> O	SrO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>
<b>Canelada</b>	<b>Média</b>	16.5	57.7	2.31	4.54	1.15	6.65	102	791	23	190	124	208	475	10
	$\sigma$	2.9	11.4	0.71	3.81	0.72	2.96	24	560	10	66	48	157	155	3
<b>Folha-de-Acácia</b>	<b>Média</b>	19.8	48.8	1.69	4.66	1.71	9.74	92	985	28	182	87	327	388	13
	$\sigma$	2.4	8.4	0.38	1.17	0.49	2.00	21	317	7	36	31	93	184	3
<b>Campaniforme</b>	<b>Média</b>	18.4	60.6	2.53	2.55	0.97	6.86	143	682	25	192	146	103	521	9
	$\sigma$	2.1	5.0	0.55	1.07	0.52	1.68	22	768	6	40	40	110	171	2

### 4 – DISCUSSÃO

A análise textural sugere que as técnicas de produção deverão ter permanecido semelhantes ao longo do Calcolítico neste sítio da península de Lisboa. As ligeiras diferenças observadas poderão resultar simplesmente das diferentes formas e funções dos vasos cerâmicos integrados nas três tipologias em causa. Em relação à percentagem e tamanho do grão presente nas amostras, os resultados indicam que foram utilizadas pastas mais depuradas (mais finas) para a manufatura de vasos de pequenas dimensões, como são os copos canelados, enquanto pastas mais grosseiras foram utilizadas para cerâmicas mais robustas, como são os contentores cerâmicos com decoração em folha-de-acácia. As pastas “voltam” a tornar-se mais finas no período campa-

niforme, onde se pensa que as cerâmicas com esta designação seriam de prestígio e, por isso, de preparação mais cuidada, revelando uma melhor depuração das matérias-primas. A distribuição das inclusões (têmpera) é considerada “não uniforme” uma vez que se observam aglomerados maiores de inclusões em algumas zonas. Por fim, a geometria destes elementos não plásticos é sobretudo subrolada a subangular. Verifica-se, contudo, que as cerâmicas com decoração em folha-de-acácia são aquelas que apresentam inclusões mais angulares, o que indicia uma maior utilização de têmpera no processo de fabrico (RICE, 1987).

A fim de se obter uma melhor interpretação para os resultados da análise química, estes foram objeto de uma análise estatística multivariada, cujos resultados se encontram representados na Figura 2.

Na Fig. 2A apresenta-se o diagrama resultante da análise em componentes principais, encontrando-se as 74 amostras distribuídas por três grupos consoante a sua composição química. O eixo PC1 é aquele que agrupa a maior parte das amostras verificando-se que quando as amostras têm maiores teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Rb}_2\text{O}$  têm, por outro lado, menores teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{ThO}_2$  e vice-versa. O eixo PC2 permite caracterizar a distribuição de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  e  $\text{ZnO}$ , os quais apresentam uma correlação fraca com os outros óxidos, mas com uma boa correlação entre si. PC3 associa-se à distribuição de  $\text{CaO}$ , indicando que este é um óxido com pouca correlação com os demais óxidos. Note-se que as únicas amostras que apresentam teores elevados de cálcio são VNSP-3 e 5, qualquer delas correspondentes a copos canelados.

Complementando esta análise a classificação hierárquica ascendente permitiu obter o dendrograma representado na Fig. 2B, o que torna mais explícita a composição (em amostras) dos três grupos definidos pela análise em componentes principais.

Assim:

- Ao grupo representado pelo círculo associam-se as maiores concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{ThO}_2$ .
- O grupo representado pelo triângulo corresponde às amostras com maiores concentrações de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Rb}_2\text{O}$ .
- O grupo representado pelo quadrado diferencia-se do anterior por as amostras que o integram apresentarem menores concentrações de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  e  $\text{ZnO}$ .

O Quadro 3 permite uma leitura fácil de quais as amostras e, por conseguinte, quais as tipologias decorativas englobadas em cada um dos três grupos definidos pela classificação hierárquica ascendente.

**Quadro 3** – Distribuição das amostras pelos três grupos formados pela análise por componentes principais.

	Canelada	Folha-de-Acácia	Campaniforme
●	1, 2, 4, 7, 10, 11, 13, 15, 18, 19, 23, 24	28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48	60, 61, 62, 74,
▲	3, 5		49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73
■	6, 8, 9, 12, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26	27, 42	53, 63

A análise estatística efetuada sugere, por conseguinte, o uso de três fontes de matéria-prima, duas delas utilizadas para a cerâmica canelada (grupos círculo e quadrado), sendo uma delas também usada para a cerâmica com decoração em folha-de-acácia (grupo círculo). Tal facto pode explicar a pequena diferença identificada pela



classificação hierárquica ascendente (ver Fig. 2B), uma vez que pode ter sido recolhida, para a manufatura dos contentores com decoração em folha-de-acácia, matéria-prima de uma zona do barreiro com composição ligeiramente diferente da utilizada para os copos canelados ou, então, essa pequena diferença resultar de uma melhor depuração da argila para estes últimos, como a análise textural indicia. Uma terceira fonte de matéria-prima terá sido usada essencialmente para a produção de cerâmica campaniforme (grupo triângulo).

## 5 – CONCLUSÕES

Foram analisadas 74 amostras de cerâmica pré-histórica recolhida no povoado calcolítico de VNSP, associadas a três tipos diferentes de decoração: 26 amostras de copos canelados (Calcolítico Inicial), 22 amostras com decoração em folha-de-acácia (Calcolítico Pleno) e 26 amostras de cerâmica com decoração campaniforme (Calcolítico Final).

A análise multivariada dos dados de composição química destas amostras sugere o uso de três fontes de matéria-prima, duas delas utilizadas para a cerâmica canelada, sendo uma delas também usada para a cerâmica com decoração em folha-de-acácia, enquanto uma terceira fonte de matéria-prima terá sido usada essencialmente para a produção de cerâmica campaniforme. A análise textural, realizada principalmente através da Microscopia Ótica em secções transversais polidas, sugere que as técnicas de produção deverão ter permanecido semelhantes ao longo do tempo e que as pequenas diferenças observadas, nomeadamente no que se refere à quantidade de têmpera utilizada na conformação das peças, poderão resultar simplesmente das diferentes formas e funções dos vasos cerâmicos integrados nas três tipologias decorativas amostradas.

## AGRADECIMENTOS

RCC agradece à FCT a bolsa PD/BD/114409/2016. Um agradecimento especial também à Associação dos Arqueólogos Portugueses por nos ter disponibilizado o material cerâmico objeto deste estudo.

## BIBLIOGRAFIA

- AMARO, G. (2011) – Continuidade e Evolução nas Cerâmicas Calcolíticas da Estremadura – Um Estudo Arqueométrico das Cerâmicas do Zambujal. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. Oeiras. 18, p. 201-233.
- ARNAUD, J; FERNANDES, C., eds. (2005) – *Construindo a Memória. As coleções do Museu Arqueológico do Carmo*. Associação do Arqueólogos Portugueses, p. 140-219.
- CABRAL, J. (1991) – Arqueometria. *Revista Colóquio/Ciências*. Fundação Calouste Gulbenkian. 7, p. 58-79.
- JOHNSON, R. & WICHERN, D. (1982) – *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall. United States of America. 767.
- RICE, P. (1987) – *Pottery Analysis: A sourcebook*. Chicago/London: The University of Chicago Press. 547.
- SALANOVA, L. & SHERIDAN, A. (2013) – When the Potter Make the Story, *The European Archaeologist*. 40, p. 80-82.
- SILVA, F.; APPOLINI, C.; QUIÑONES, F.; SANTOS, A.; SILVA, L.; BARBIERI, F. & FILHO, V. (2004) – A Arqueometria e a Análise de Artefactos Cerâmicos: Um Estudo de Fragmentos Cerâmicos Etnográficos e Arqueológicos por Fluorescência de Raios-X (EDXRF) e Transmissão Gama, *Revista de Arqueologia*. 17, p. 41-61.
- WARD, J. (1963) – Hierarchical Grouping to Optimize a Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*. 58, p. 236-244.

## **LA TRANSICIÓN BRONCE PLENO – ORIENTALIZANTE EN SETEFILLA (LORA DEL RÍO, SEVILLA): DATOS ARQUEOMÉTRICOS DE UNA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA**

### ***BRONZE AGE TO ORIENTALIZING PERIOD TRANSITION IN SETEFILLA (LORA DEL RÍO, SEVILLE): ARCHAEOMETRIC DATA FROM A STRATIGRAPHIC SEQUENCE***

Michał Krueger<sup>1</sup> & Violeta Moreno Megías<sup>2</sup>

#### **Abstract**

Setefilla (Lora del Río, Seville) is an emblematic site for Spanish Protohistory historiography, as it represented a milestone for the study of the transition from the Bronze Age to the Orientalizing period in Western Andalusia (South-Western Iberian Peninsula). This paper aims to present the preliminary results of the archaeometric analysis performed to ceramic materials from a stratigraphic sequence of the site. More concretely, the selected samples were found in the stratigraphic levels corresponding to the Bronze Age, Late Bronze Age and Early Iron Age of the Sector 3 of Mesa de Setefilla (campaign 1979). The study has taken into consideration thin-section petrographic analysis and X-ray spectrometry, besides the more traditional morpho-typological description, in order to outline the evolution of the compositional definition of the pottery of Mesa de Setefilla. It is the first time that the ceramic materials from this interesting context have been archaeometrically studied and interpreted from a diachronic perspective.

*Keywords:* Orientalizing period, Pottery, Bronze Age, XRF, Petrography

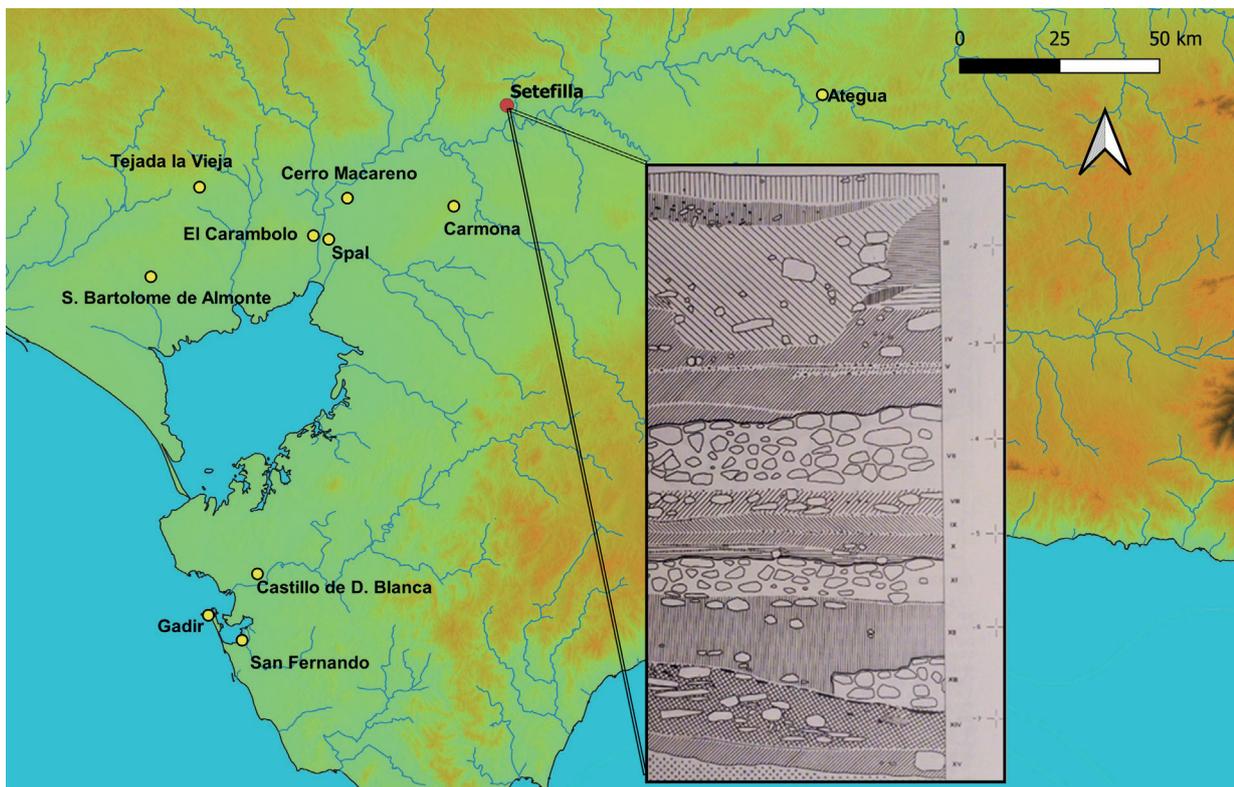
## **1 – INTRODUCCIÓN**

El yacimiento de Setefilla se ubica en el tramo meridional de Sierra Morena, a unos 9 km al noreste de Lora del Río (Sevilla, España) (Fig. 1). Consta de una extensa necrópolis y un asentamiento de larga ocupación que abarca el espacio conocido como la Mesa de Setefilla, separados entre ellos por unos 900 metros y una considerable depresión. Las primeras intervenciones arqueológicas en el poblado fueron realizadas entre los años 1975 y 1979 mediante la ejecución de tres sondeos (AUBET SEMMLER *et al.*, 1983; AUBET SEMMLER, 1989). Los resultados de estas campañas fueron de enorme interés para el estudio de la Protohistoria de la región del Bajo Guadalquivir. Gracias a ellos se puso en evidencia la relación entre el poblado y la necrópolis, pero además se pudo establecer una secuencia arqueológica ininterrumpida desde el Bronce Pleno hasta el periodo prerromano, base para la determinación de la cronología relativa y absoluta del yacimiento a partir de la tipología cerámica (AUBET SEMMLER *et al.*, 1983, p. 1136-140).

---

<sup>1</sup> Wydział Archeologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 7, 61-614 Poznań, Polonia. krueger@amu.edu.pl

<sup>2</sup> Grupo de Investigación De la Turdetania a la Bética, Universidad de Sevilla, Seville, Spain.  
Departamento de Prehistoria y Arqueología, C/ María de Padilla S/N, 41004 Sevilla, España. vmoreno1@us.es



**Fig. 1** – Mapa de localización del Corte 3 del poblado de Setefilla (Lora del Río, Sevilla) junto a los principales yacimientos de la época. Elaboración propia, dibujo del corte a partir de Aubet *et al.* 1983: 35.

Aprovechando una de las pocas secuencias estratigráficas tan amplias para yacimientos de este periodo en la región, para la realización de este trabajo se propuso el análisis de muestras de cerámica extraídas de piezas documentadas durante los trabajos arqueológicos de la Mesa de Setefilla (Tabla 1), desde una perspectiva espectrométrica y petrográfica. Los análisis se insertan en un proyecto de investigación de mayor envergadura destinado al estudio arqueométrico y tecnológico de la transición entre la Edad del Bronce y la Edad del Hierro en el suroeste de la península ibérica (Proyecto UMO-2017/25/B/HS3/00635, financiado por el Centro Nacional de la Ciencia de Polonia). Es por ello que el material seleccionado de Setefilla proviene de los niveles correspondientes al Bronce Pleno, Bronce Final e inicios de la Edad del Hierro del corte estratigráfico 3, depositados en el Museo Arqueológico de Sevilla. El registro cerámico de este periodo permite observar la evolución de la producción alfarera en el momento en que la tradición local entra en contacto con los materiales fenicios, señalada por una adaptación tecnológica de gran importancia con la introducción del torno y de nuevos perfiles morfológicos.

## 2 – MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales seleccionados cuentan con valiosa información de cronología relativa gracias a su inserción en la secuencia estratigráfica, de la que se han realizado también algunas dataciones radiocarbónicas puntuales (remitimos a AUBET SEMMLER *et al.*, 1983, p. 48-49; BRANDHERM & KRUEGER, 2017). En total,

**Tabla 1** – Inventario de muestras del Corte 3 de Mesa de Setefilla.

Muestra	Nº análisis	Sigla	Estrato	Forma	Modelado	XRF	Petro	Grupo de pasta
1	48	S-79-3-XV-2851	XV	cuenco	a mano	no	sí	4D
2	49	S-79-3-XV-2823	XV	cuenco	a mano	no	sí	4A
3	50	S-79-3-XV-2957	XV	cuenco	a mano	sí	sí	8B
4	51	S-79-3-XV-3014	XV	cuenco	a mano	sí	sí	8C
5	52	S-79-3-XIV-2601	XIV	cuenco	a mano	sí	sí	4A
6	53	S-79-3-XIV-2637	XIV	olla	a mano	sí	sí	4C
7	54	S-79-3-XIV-2673	XIV	olla	a mano	sí	sí	4A
8	55	S-79-3-XIV-2765	XIV	vaso globular	a mano	sí	sí	7E
9	56	S-79-3-XIII-2534	XIII	cuenco	a mano	sí	sí	7E
10	57	S-79-3-XIII-2757	XIII	¿olla?	a mano	sí	sí	7A
11	58	S-79-3-XIII-2252	XIII	plato	a mano	sí	sí	7B
12	59	S-79-3-XIIA-2132	XIIA	cuenco	a mano	sí	sí	7B
13	60	S-79-3-XIIA-1950	XIIA	olla	a mano	sí	sí	7A
14	61	S-79-3-XIIA-1777	XIIA	cuenco	a mano	no	sí	7B
15	62	S-79-3-XIIB-2152	XIIB	cuenco	a mano	sí	sí	4D
16	71	S-79-3-XI-1637	XI	cuenco	a mano	sí	sí	7A
17	72	S-79-3-XI-1626	XI	desconocida	a torno	sí	sí	5
18	73	S-79-3-X-1601	X	à chardon	a mano	sí	sí	7B
19	74	S-79-3-X-1601	X	à chardon	a mano	sí	sí	7B
20	75	S-79-3-IX-1467	IX	cuenco	a mano	sí	sí	7B
21	77	S-79-3-IX-1557	IX	desconocida	a torno	sí	sí	6
22	80	S-79-3-VIII-1266	VIII	cuenco	a mano	no	sí	7A
23	82	S-79-3-VIII-1191	VIII	desconocida	a torno	sí	sí	7E
24	103	S-79-3-VII-1080	VII	cuenco	a mano	sí	sí	7B
25	104	S-79-3-VII-1070	VII	¿cuenco?	¿a torno?	no	sí	2
26	105	S-79-3-VII-1060	VII	desconocida	a torno	sí	sí	1C
27	106	S-79-3-VI-973	VI	cuenco	a torno	sí	sí	7E
28	108	S-79-3-VI-157	VI	desconocida	a torno	sí	sí	1B

se seleccionaron para el análisis 28 muestras cerámicas procedentes de los estratos XV-VI de la secuencia (Tabla 1). La estrategia de muestreo dio precedencia a las piezas mejor conservadas, con formas que fueran dentro de lo posible reconocibles y preferentemente perfiles abiertos como cuencos o platos, aunque también se consideraron ollas y vasos *à chardon*.

En cuanto a la metodología seguida, para este caso se ha recurrido al análisis petrográfico y la espectrometría de rayos X. El primer tipo de análisis permite obtener información de naturaleza composicional mineralógica, microestructural y tecnológica (QUINN, 2013). La espectrometría de rayos X, por su parte, permite agrupar informaciones sobre la composición química y, en consecuencia, crear bases para la investigación de materias primas y su circulación (OWNBY, 2012).

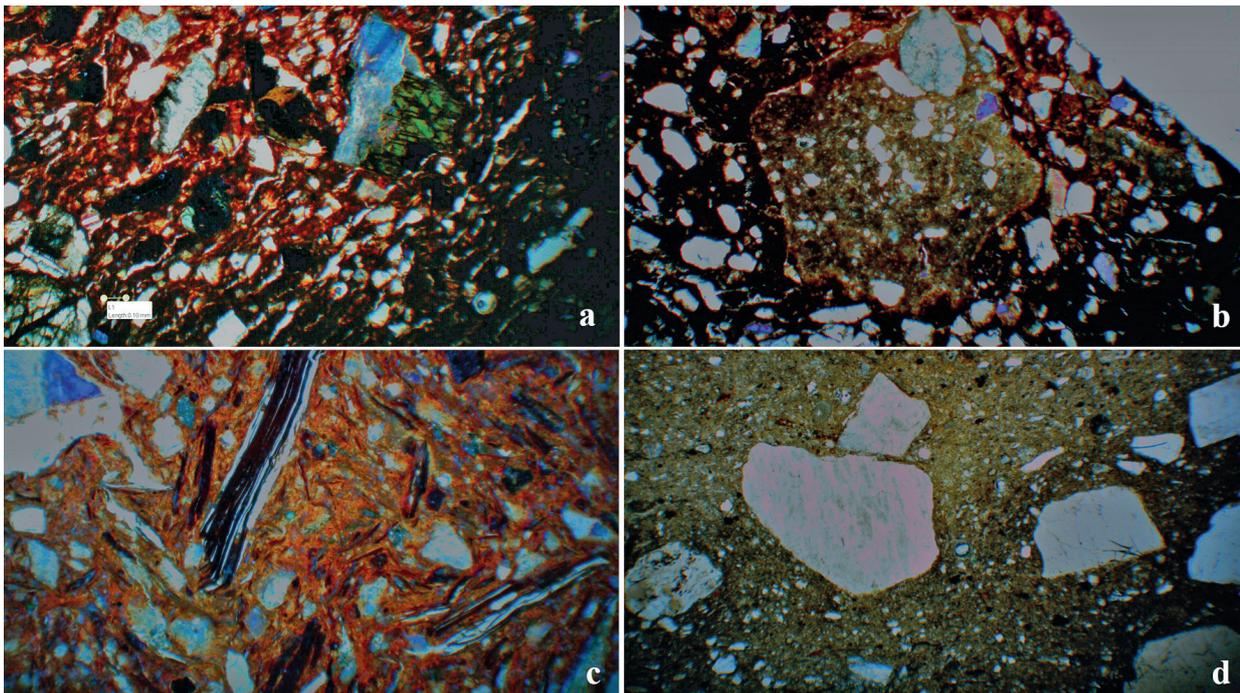
Para el análisis petrográfico, se realizaron láminas delgadas de 30 µm de espesor que seguidamente fueron examinadas mediante un microscopio petrográfico de luz polarizada Motic BA-310 POL, recurriendo a magni-

ficaciones entre 4x y 60x. Las muestras fueron agrupadas en grupos petrográficos teniendo en cuenta criterios cuantitativos y cualitativos de sus parámetros descriptivos. En el caso del análisis químico, se ha utilizado un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X Bruker Tracer III SD para analizar 23 de las muestras de cerámica utilizando dos modos analíticos: “Major Mud Rock” (energía 15 kV, corriente 25  $\mu$ A, sin filtro, bomba de vacío utilizada) y “Trace Mud Rock” (energía de 40 kV y corriente de 15 $\mu$ A, con filtro Ti/Al, sin bomba de vacío). Cada análisis duró 15 segundos empleando muestras pulverizadas. El modo analítico Major Mud Rock detecta 17 elementos mayoritarios (Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ba) mientras que el modo Trace Mud Rock se centra en 22 elementos traza (Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Ba, Pb, Th, U).

### 3 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis realizados han permitido obtener una descripción composicional de las pastas cerámicas documentadas en el asentamiento de Setefilla, a la vez que han arrojado datos interesantes acerca de su mantenimiento o transformación a lo largo del tiempo reflejado en la secuencia estratigráfica.

El estudio petrográfico permitió clasificar las muestras en distintos grupos de pastas cerámicas (Fig. 2), denominados según la clasificación general creada para el proyecto de investigación en el que se enmarca este trabajo y especificados en la Tabla 1. En líneas generales, puede identificarse un grupo principal que se repite a lo largo de toda la secuencia y que tiene, por tanto, continuidad entre el Bronce Pleno y el inicio de la Edad del Hierro, entre los estratos XIV y VI. Se trata del grupo petrográfico 7, divisible en los subgrupos 7A, 7B y 7E por pequeñas diferencias en las proporciones de su composición o en el tratamiento de la arcilla y sus elementos



**Fig. 2** – Fotografías de láminas delgadas (40x) correspondientes a los principales grupos petrográficos del Corte 3 de Setefilla y ejemplo de la introducción de pastas a torno no locales. a): Muestra S-79-3-XIIA-2132, cuenco a mano del grupo 7B; b): Muestra S-79-3-XIV-2601, cuenco a mano del grupo 4A; c): Muestra S-79-3-XV-2957, cuenco a mano del grupo 8B; d): Muestra S-79-3-VII-1070, cuenco a torno del grupo 2.

añadidos. Este tipo de pasta puede definirse por su gruesa granulometría y escasa clasificación, así como la presencia de desgrasante formado por granos de cuarzo y por fragmentos rocosos de origen metamórfico e ígneo que tienen su reflejo en la composición geológica del entorno de Setefilla, especialmente en los límites de la Sierra Norte de Sevilla (VÁZQUEZ GUZMÁN & FERNÁNDEZ POMPA, 1976; IGME, 1999; MORENO GARRIDO *et al.*, 2007). Es un grupo petrográfico característico de la tradición a mano local. Sólo a partir del estrato VIII, ya inserto en el periodo Orientalizante, podemos empezar a documentar esta receta cerámica empleada para la confección de vasos a torno, indicando los primeros indicios de integración de esta novedad tecnológica a la cadena operativa local sin que ello afectara, de ningún modo, al resto de *steps* tecnológicos seguidos por los artesanos, al menos en lo que respecta a la producción estrictamente local del asentamiento.

Además de este tipo de pastas, las más características de todo el yacimiento, la fase más antigua del Bronce Pleno está caracterizada por otros *fabrics* recurrentes en la cerámica doméstica (grupo petrográfico 4, dividido en subgrupos 4A, 4C y 4D) y, por un breve periodo de tiempo, por otro tipo de pasta, el grupo petrográfico 8 (subgrupos 8B y 8C) de composición similar pero con una presencia muy abundante de biotita de grandes dimensiones. El grupo 4 es probablemente de manufactura local, igualmente, aunque la menor especificidad diagnóstica del componente más abundante, granos de cuarzo mal clasificados, no permite proponer mayores especificaciones.

La introducción de la presencia de piezas elaboradas a torno entre el registro encontrado en el asentamiento supone también la aparición de nuevos grupos petrográficos de pastas cerámicas que, a diferencia de los tipos anteriores, están mucho más alejados del paisaje geológico local y por tanto responden a proveniencias fuera del área de aprovisionamiento tradicional, pudiendo entenderse como importaciones de matriz fenicias. La primera muestra analizada que puede caracterizarse claramente como producción a torno aparece en el estrato XI, representando el primer contacto con este tipo de manufactura. Su pasta cerámica, clasificada como Grupo 5, recoge todas las características habituales de la cerámica fenicia, con una matriz fina y depurada y un relevante componente calcáreo con importante presencia de microfósiles. Puntualmente aparecen también los grupos petrográficos denominados 6 (estrato IX), 2 (estrato VII) y 1 (estratos VII, 1C, y VI, 1B). Los estratos VII y VI representan, de hecho, la apertura a la llegada de nuevas tendencias petrográficas que son comunes en la zona de los Alcores, dado el alto contenido calcáreo y de bioclastos característicos (BELÉN DEAMOS *et al.*, 2018), pudiendo indicar la intensificación de las relaciones con los asentamientos situados en aquella área en los albores de la Edad del Hierro y la inauguración del comercio con elementos manufacturados a torno procedentes de la misma.

Por su parte, los resultados obtenidos mediante fluorescencia de rayos X han resultado mucho más difíciles de interpretar en cuanto a la detección de tendencias diacrónicas en la composición química de las cerámicas. A grandes rasgos, no se aprecian diferencias sustanciales en la composición elemental de los diferentes estratos que permitan un establecimiento claro de grupos químicos (Tabla 2 y 3). En algunos casos, ciertas muestras revelan patrones claramente distintos al resto del conjunto. Esto sucede en el caso de la muestra 3 (S-79-3-XV-2957), que destaca por los altos niveles de K y Ti, o la muestra 20 (S-79-3-IX-1467), otro de los cuencos a mano que sin embargo presenta valores bajos en algunos de los principales elementos de la arcilla como son Al, Si y Ca.

Más que desde una perspectiva cronológica, sí que es posible establecer diferencias entre los elementos realizados a mano y las manufacturas a torno, que en cualquier caso proceden probablemente de lugares diferentes al ámbito local. Pueden observarse variaciones considerables en el contenido de elementos como Ca, Zn, Rb o Sr. De manera particular, los niveles de Ca de las manufacturas a torno, mucho más altos, son los más evidentes en cuanto a las diferencias generales con las cerámicas a mano.

**Tabla 2** – Composición elemental de las muestras de Mesa de Setefilla obtenidas gracias al modo analítico “Major Mud Rock”.

Muestra	Nº análisis	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ba
3	191	0,859	6,175	15,519	0,039	0,136	3,467	1,277	0,610	0,007	0,007	0,041	4,795	0,002	0,002	0,007	0,009	0,168
4	192	1,793	5,230	18,373	0,000	0,155	1,377	1,212	0,292	0,008	0,008	0,041	4,207	0,002	0,004	0,010	0,009	0,038
5	194	0,494	3,966	18,931	0,143	0,042	1,478	2,431	0,282	0,014	0,013	0,026	5,141	0,002	0,005	0,008	0,008	0,080
6	195	1,031	5,497	19,821	0,092	0,107	1,831	0,873	0,348	0,013	0,012	0,025	4,592	0,002	0,005	0,007	0,007	0,000
7	196	0,502	6,204	21,917	0,067	0,144	1,902	1,598	0,448	0,003	0,010	0,052	4,380	0,002	0,007	0,006	0,006	0,089
8	197	0,254	7,309	17,083	0,048	0,097	0,863	3,099	0,415	0,009	0,021	0,046	4,945	0,002	0,005	0,006	0,005	0,022
9	198	0,181	6,152	15,796	0,105	0,109	0,993	2,873	0,487	0,004	0,010	0,076	5,518	0,003	0,003	0,008	0,006	0,135
10	199	0,228	4,833	14,216	0,038	0,172	0,420	2,331	0,633	0,014	0,012	0,053	6,146	0,003	0,001	0,007	0,002	0,105
11	200	0,079	4,643	14,249	0,056	0,109	0,966	2,179	0,838	0,019	0,003	0,066	5,785	0,003	0,000	0,007	0,005	0,151
12	201	0,240	5,958	16,566	0,120	0,100	0,735	3,160	0,447	0,015	0,008	0,061	6,317	0,003	0,003	0,006	0,007	0,103
13	202	0,550	4,124	15,183	0,051	0,128	0,506	1,487	0,547	0,011	0,010	0,028	5,986	0,003	0,001	0,005	0,004	0,021
15	203	0,552	7,156	22,922	0,055	0,161	1,946	0,854	0,409	0,010	0,011	0,039	5,012	0,002	0,007	0,007	0,010	0,062
16	212	0,097	4,019	14,222	0,066	0,101	0,625	2,054	0,538	0,017	0,017	0,042	5,734	0,003	0,003	0,007	0,006	0,019
17	213	0,771	4,719	18,261	0,084	0,095	1,975	6,391	0,331	0,001	0,008	0,048	3,617	0,002	0,004	0,007	0,010	0,067
18	214	2,473	2,787	7,743	0,000	0,163	0,224	1,305	0,287	0,003	0,011	0,020	4,967	0,002	0,000	0,008	0,003	0,000
19	215	0,217	6,547	16,397	0,006	0,181	0,418	2,120	0,594	0,014	0,009	0,039	5,871	0,003	0,002	0,005	0,004	0,109
20	216	2,222	3,426	9,056	0,000	0,145	0,217	1,263	0,373	0,002	0,010	0,014	5,528	0,002	0,000	0,006	0,006	0,000
21	217	0,393	5,730	19,134	0,049	0,142	1,190	4,707	0,429	0,006	0,012	0,026	4,714	0,002	0,005	0,004	0,009	0,117
23	219	0,385	4,920	14,802	0,039	0,094	0,892	5,839	0,365	0,006	0,010	0,041	5,128	0,002	0,004	0,005	0,006	0,143
24	229	0,257	4,937	14,303	0,009	0,146	0,698	2,461	0,680	0,004	0,010	0,056	5,578	0,003	0,001	0,006	0,011	0,133
26	230	0,796	3,608	18,929	0,069	0,064	1,471	4,585	0,287	0,011	0,008	0,027	3,485	0,001	0,004	0,007	0,010	0,029
27	231	0,197	6,586	15,970	0,013	0,173	0,592	2,632	0,415	0,013	0,019	0,056	6,436	0,003	0,004	0,010	0,000	0,170
28	232	0,930	3,678	12,399	0,052	0,206	1,359	12,683	0,239	0,001	0,007	0,025	2,786	0,001	0,003	0,003	0,009	0,131

#### 4 – CONCLUSIONES

Los datos arqueométricos obtenidos permiten observar una gran continuidad en lo que respecta a la producción local de cerámica modelada a mano. Tanto desde el punto de vista petrográfico como de la composición química, el grueso de los vasos a mano mantiene sus principales características. La falta de cambios importantes en este conjunto, a grandes rasgos, indica que las comunidades de Setefilla recurrieron a las mismas materias primas disponibles en los alrededores del yacimiento. De hecho, los cambios a lo largo de los siglos en el uso de arcilla y en la preparación de la pasta no fueron radicales. Estos datos se corresponden con las conclusiones del análisis de carácter tipológico realizado por los autores de la memoria de excavación de la Mesa de Setefilla, quienes observaron una continuidad cultural muy acusada en todos los horizontes de habitación del poblado (AUBET SEMMLER *et al.*, 1983, p. 135). Únicamente en la fase más antigua, en el Bronce Pleno, podemos apreciar la presencia de otras recetas cerámicas destinadas a la cerámica a mano doméstica local, que desaparecen al comenzar el periodo transicional que despide al Bronce Final. Además del citado grupo 4, de carácter eminentemente doméstico y composición poco diagnóstica, es de señalar el grupo 8. Se trata de un tipo de pasta muy similar al grupo 7, la receta típica de Setefilla, tanto en su selección de componentes como en el tratamiento de los mismos. Sin embargo, resulta más frecuente y duradero entre el registro

**Tabla 3** – Composición elemental de las muestras de Mesa de Setefilla obtenidas mediante el modo analítico “Trace Mud Rock”.

Muestra	Nº análisis	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Ba	Pb	Th	U
3	36	2,320	0,776	0,003	0,049	4,908	0,003	0,004	0,000	0,006	0,001	0,009	0,024	0,002	0,024	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001
4	37	1,965	0,431	0,002	0,069	4,615	0,002	0,000	0,005	0,014	0,004	0,005	0,026	0,003	0,007	0,000	0,004	0,001	0,005	0,022	0,002	0,001	0,000
5	38	3,068	0,461	0,015	0,038	5,586	0,002	0,002	0,000	0,008	0,002	0,006	0,016	0,003	0,014	0,001	0,002	0,000	0,003	0,000	0,002	0,001	0,000
6	39	1,552	0,535	0,001	0,041	5,545	0,002	0,002	0,000	0,008	0,001	0,005	0,011	0,003	0,010	0,001	0,004	0,001	0,006	0,000	0,002	0,001	0,000
7	40	2,052	0,701	0,000	0,075	3,607	0,002	0,003	0,002	0,008	0,001	0,007	0,010	0,003	0,013	0,001	0,003	0,000	0,003	0,054	0,001	0,001	0,000
8	41	5,671	0,616	0,059	0,040	5,975	0,003	0,008	0,011	0,006	0,000	0,002	0,027	0,003	0,006	0,001	0,002	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000
9	42	5,315	0,709	0,024	0,106	5,784	0,004	0,006	0,009	0,010	0,001	0,003	0,024	0,003	0,003	0,000	0,003	0,001	0,005	0,051	0,001	0,000	0,000
10	43	5,874	1,119	0,014	0,114	6,071	0,006	0,003	0,009	0,002	0,000	0,001	0,031	0,003	0,009	0,000	0,001	0,001	0,004	0,236	0,001	0,000	0,000
11	44	6,839	0,788	0,012	0,118	7,062	0,004	0,005	0,011	0,011	0,001	0,002	0,034	0,002	0,004	0,001	0,003	0,001	0,005	0,133	0,001	0,000	0,001
12	45	6,998	1,535	0,000	0,121	3,935	0,005	0,000	0,005	0,009	0,001	0,002	0,033	0,004	0,012	0,001	0,000	0,000	0,003	0,127	0,001	0,000	0,000
13	46	5,403	1,320	0,000	0,073	4,813	0,005	0,001	0,004	0,007	0,001	0,002	0,014	0,003	0,004	0,001	0,004	0,001	0,006	0,175	0,001	0,000	0,000
15	47	1,259	0,456	0,004	0,052	5,276	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,011	0,009	0,002	0,010	0,001	0,004	0,001	0,006	0,155	0,001	0,001	0,001
16	56	5,614	1,160	0,017	0,103	5,909	0,004	0,005	0,004	0,006	0,000	0,002	0,029	0,003	0,007	0,001	0,003	0,001	0,005	0,000	0,001	0,000	0,000
17	57	8,501	0,488	0,000	0,079	3,601	0,002	0,005	0,000	0,009	0,000	0,012	0,026	0,003	0,018	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001
18	58	4,039	0,762	0,016	0,056	6,842	0,004	0,004	0,018	0,007	0,001	0,001	0,027	0,004	0,008	0,001	0,002	0,001	0,003	0,015	0,001	0,000	0,000
19	59	5,559	1,140	0,009	0,064	5,769	0,005	0,004	0,002	0,003	0,000	0,001	0,028	0,004	0,008	0,001	0,002	0,001	0,004	0,080	0,001	0,000	0,000
20	60	5,146	1,124	0,011	0,045	6,883	0,005	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,024	0,003	0,009	0,001	0,003	0,001	0,005	0,000	0,001	0,000	0,000
21	61	6,876	0,569	0,005	0,034	5,196	0,003	0,004	0,000	0,006	0,000	0,004	0,021	0,003	0,013	0,001	0,003	0,001	0,005	0,130	0,001	0,001	0,000
23	63	10,492	0,618	0,009	0,075	5,860	0,003	0,007	0,002	0,005	0,000	0,004	0,035	0,003	0,009	0,001	0,002	0,000	0,004	0,367	0,001	0,001	0,000
24	73	7,173	1,325	0,004	0,105	4,023	0,005	0,001	0,003	0,014	0,001	0,003	0,020	0,003	0,006	0,000	0,005	0,001	0,006	0,239	0,001	0,000	0,000
26	74	6,057	0,356	0,007	0,031	4,002	0,002	0,003	0,002	0,009	0,001	0,009	0,030	0,002	0,013	0,001	0,003	0,001	0,004	0,236	0,001	0,001	0,000
27	75	6,010	0,778	0,048	0,091	7,574	0,005	0,009	0,028	0,006	0,001	0,002	0,032	0,002	0,006	0,001	0,003	0,001	0,005	0,156	0,001	0,000	0,001
28	76	17,865	0,409	0,001	0,039	3,064	0,001	0,003	0,003	0,010	0,001	0,009	0,054	0,002	0,012	0,001	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000

cerámico de la cercana necrópolis de Setefilla, que queda fuera del análisis presentado en este artículo. Esta situación de concentración de un grupo petrográfico en un contexto muy concreto del yacimiento podría representar una cierta especialización de la producción de los talleres que empleaban esta receta cerámica para sus manufacturas, que estarían dedicadas a los ritos funerarios.

Los elementos de la vajilla de mesa y la cerámica de cocina parecen igualmente compartir recetas de pasta. Las ollas que han sido analizadas pertenecen al grupo 4, uno de los más antiguos, y al subgrupo 7A, diferenciado del resto del grupo 7 por su granulometría mucho más gruesa y peor clasificación en el añadido de desgrasante. En el caso de los pocos ejemplares de cerámica algo más cuidada que han sido estudiados, un plato y dos vasos *à chardon*, coinciden todos ellos en el subgrupo 7B, en el que tiene una mayor presencia la fracción fina frente a los gruesos fragmentos rocosos. Salvando estas pequeñas observaciones que pueden destacarse en cuanto a distintos conjuntos funcionales, lo cierto es que las tendencias generales son muy uniformes y duraderas en lo que concierne a la cerámica usual del poblado de Setefilla.

Las verdaderas modificaciones en el registro cerámico llegan de la mano de las importaciones de manufacturas a torno, responsables de aumentar la variabilidad petrográfica de los materiales documentados e igualmente diferenciables desde la perspectiva de la composición química. Estas diferencias elementales son lógicas, si consideramos que su descripción composicional petrográfica tampoco coincide con el sustrato

geológico local. Las caracterizaciones petrográficas de estos elementos los relacionan con las recetas cerámicas típicas de la zona de los Alcores y Carmona, que se prolongarán hasta el final de la Edad del Hierro. Pero también se atestigua la cerámica de adscripción fenicia (grupo 5) que tanto se repite en las tumbas de la necrópolis de Setefilla ya desde finales de la Edad del Bronce, que podría tener relación con alguno de los asentamientos coloniales en la costa o incluso ser importaciones más lejanas (MORENO MEGÍAS & KRUEGER, 2019).

El inicio de la Edad del Hierro supone, por tanto, una apertura de los cauces de aprovisionamiento de elementos cerámicos sin que ello influya en los modos tradicionales de elaborar la cerámica de estilo local. Desafortunadamente, todos los ejemplares foráneos a torno no mostraron un perfil morfotipológico reconocible, por lo que no pueden asociarse con formas concretas salvo un posible cuenco, que es uno de los vasos más comunes que aparecen entre el menaje doméstico. Sí se conserva el perfil de uno de los cuencos realizados con pasta local pero modelado a torno, la muestra 27 (S-79-3-VI-973), demostrando la aplicación de las novedades tecnológicas a las formas más tradicionales.

Estos datos demuestran la potencialidad del yacimiento, representante de uno de los momentos transicionales más interesantes de toda la Protohistoria de la región, por lo que el análisis de sus materiales será profundizado en el marco del presente proyecto de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUBET SEMMLER, M. E. (1989) – La Mesa de Setefilla: la secuencia estratigráfica del Corte 1. En AUBET SEMMLER, M. E. (ed.), *Tartessos. Arqueología protohistórica del Bajo Guadalquivir*. Sabadell: AUSA, p. 297-338.
- AUBET SEMMLER, M. E.; SERNA GONZÁLEZ, M. R.; ESCACENA CARRASCO, J. L. & RUIZ DELGADO, M. M. (1983) – *La Mesa de Setefilla. Lora del Río (Sevilla). Campaña de 1979*. Madrid: Ministerio de Cultura.
- BELÉN DEAMOS, M.; ODRIOZOLA LLORET, C. P. & ROMÁN RODRÍGUEZ, J. M. (2018) – Alfarería protohistórica en Carmona (Sevilla). *Folia Phoenicia*. 2, p. 218-223.
- BRANDHERM, D. & KRUEGER, M. (2017) – Primeras determinaciones radiocarbónicas de la necrópolis de Setefilla (Lora del Río) y el inicio del periodo orientalizante en Andalucía occidental. *Trabajos de Prehistoria*. 74, p. 296-318.
- IGME (1999) – *Mapa Geológico de España, E. 1:50.000 – Hoja 963 – Lora del Río, 1:50.000*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- MORENO GARRIDO, C.; SÁEZ RAMOS, R. & GONZÁLEZ BARRIONUEVO, F. (2007) – *Guía geológica e itinerarios. Parque Natural Sierra Norte de Sevilla*. Sevilla: Junta de Andalucía.
- MORENO MEGÍAS, V. & KRUEGER, M. (2019) – Petrographic and Chemical Characterization of Pottery of Phoenician Tradition from Early Tartessian Centers. *Rivista di Studi Fenici*. 47, p. 87-102.
- OWNBY, M. (2012) – The Use of Portable X-ray Fluorescence Spectrometry for Analyzing Ancient Ceramics. *Archaeology Southwest Magazine*. 26:2.
- QUINN, P. S. (2013) – *Ceramic Petrography The Interpretation of Archaeological Pottery and Related Artefacts in Thin Section*. Oxford: Archaeopress.
- VÁZQUEZ GUZMÁN, F. & FERNÁNDEZ POMPA, F. (1976) – *Contribución al conocimiento geológico del suroeste de España en relación con la prospección de depósitos de magnetitas*. Madrid: Ministerio de Industria.

## **ARQUEOMETRÍA Y ACÚSTICA EN EL ESTUDIO DE REPRODUCCIONES DE TROMPETAS CERÁMICAS CELTIBÉRICAS Y SU COMPARACIÓN CON TROMPETAS NUMANTINAS**

### ***ARCHAEOLOGY AND ACOUSTICS IN THE STUDY OF REPRODUCTIONS OF CELTIBERIAN CERAMIC TRUMPETS AND THEIR COMPARISON WITH NUMANTINE TRUMPETS***

R. Jiménez Pasalodos<sup>1</sup>, F. Agua<sup>2</sup>, J.J. Padilla Fernández<sup>3</sup>, M.A. Villegas<sup>4</sup> & M. García-Heras<sup>5</sup>

#### **Abstract**

An archaeometric and acoustic study is combined for the first time in the research of Celtiberian pottery trumpets of late Iron Age (3<sup>rd</sup> – 1<sup>st</sup> centuries BC). Modern reproductions of such pottery trumpets were analyzed, as well as a set of fragments of original Numantian trumpets of archaeological provenance, with the aim of determining the acoustic properties of the former and their relationship with the modern and ancient ceramic material. The results suggest that they were not only used to produce noise and signals, as they have been traditionally interpreted, but also they could be used to reproduce simple melodies to play alone or accompanied by other instruments.

*Keywords:* Celtiberian trumpets, Pottery, Acoustics, Archaeometry.

## **1 – INTRODUCCIÓN**

Las trompetas cerámicas celtibéricas de fines de la Edad del Hierro (siglos III – I a.C.) se conocen desde su hallazgo a principios del siglo XX en las excavaciones arqueológicas de Numancia (Garray, Soria). Es uno de los conjuntos arqueo-organológicos más extenso de la protohistoria europea. Hasta ahora se han documentado 65 hallazgos, más otros dos dudosos, que podrían representar un número mínimo de 52 instrumentos. Los hallazgos se restringen básicamente a Numancia y a su zona de influencia (Fig. 1A). Según su clasificación organológica se trata de aerófonos ultracirculares, llamados labrosones o trompetas, en los que el sonido se consigue por la vibración de los labios del intérprete (JIMÉNEZ PASALODOS, 2012). En los hallazgos documentados se distinguen tres partes: 1 Boquilla; 2 Tubo circular; y 3 Pabellón o campana.

---

<sup>1</sup> Dpto. de Historia y Ciencias de la Música. Universidad de Valladolid y Artsoundscapes ERC Project, Universitat de Barcelona, España.

<sup>2</sup> Instituto de Historia, CSIC. Madrid, España.

<sup>3</sup> Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Universidad Complutense. Madrid, España.

<sup>4</sup> Instituto de Historia, CSIC. Madrid, España.

<sup>5</sup> Instituto de Historia, CSIC. Madrid, España.



**Fig. 1** – A) Algunos ejemplares de trompetas cerámicas numantinas (Museo Numantino, Soria). B) Reproducción moderna. Trompeta grande. C) Reproducción moderna. Trompeta pequeña. D-E) Reproducciones modernas sonadas por Estefanía García Barrajón. 1 Boquilla, 2 Tubo circular, 3 Pabellón o campana.

La interpretación más repetida en la bibliografía mantiene que fueron instrumentos de uso bélico para señalización y para producir ruido y confusión en las batallas (PASTOR EIXARCH, 1987; SOPEÑA GENZOR, 1995). Sin embargo, no parece que fuera su única finalidad ya que presentan tamaños y tipologías variadas, resultan instrumentos frágiles y delicados y su cuidada manufactura sugiere posibilidades musicales más amplias. Por ello, dado que hasta el momento no se habían estudiado, ni sus propiedades acústicas ni las características técnicas del material cerámico con el que se elaboraron, en este trabajo se combina por primera vez un estudio arqueométrico y acústico en la investigación de estas trompetas cerámicas, con el objetivo

principal de determinar si eran instrumentos musicales con los que se podían emitir distintas notas y además interpretar melodías. El estudio acústico se realizó a partir de reproducciones modernas de trompetas celtibéricas, mientras que el estudio arqueométrico se llevó a cabo tanto en fragmentos de las reproducciones como en un conjunto de fragmentos de trompetas numantinas originales. La comparación entre los datos acústicos y arqueométricos obtenidos es lo que permitió dar respuesta al interrogante principal sobre las posibilidades sonoras de estos instrumentos.

## 2 – MATERIALES Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

### 2.1 – Materiales estudiados

Se estudiaron dos conjuntos: uno asociado a las reproducciones modernas y otro asociado a los fragmentos arqueológicos. El primero consta de dos reproducciones completas, dos fragmentos de otras reproducciones y dos materiales arcillosos. Las reproducciones se realizaron por el taller de alfarería tradicional de los hermanos Padilla Herrera (Bailén, Jaén). La primera se denominó Trompeta grande (~30 cm de diámetro, Fig. 1B) y se elaboró con una arcilla procedente de Bailén (Arcilla 1); la segunda se denominó Trompeta pequeña (~15 cm de diámetro, Fig. 1C) y se elaboró con una arcilla recogida en Castillejo, lugar cercano a Numancia (Arcilla 2). Ambas se elaboraron siguiendo la misma secuencia de producción que los ejemplares arqueológicos, incluida su cocción en un horno de doble cámara similar a los empleados a finales de la Edad del Hierro, utilizando leña como combustible y una temperatura de ~900-950°C (JIMÉNEZ PASALODOS *et al.*, 2013; PADILLA FERNÁNDEZ *et al.*, 2013). Los fragmentos se corresponden con una campana de otra trompeta grande realizada con arcilla de Bailén (Arcilla 1) y con un tubo circular de otra trompeta pequeña elaborada con arcilla de Castillejo (Arcilla 2). Ambos fragmentos se emplearon para los análisis de caracterización arqueométrica con el fin de no intervenir en las reproducciones completas.

El segundo conjunto consta de siete fragmentos de trompetas cerámicas celtibéricas (NU-1 a NU-6 y N-49). Cinco proceden de Numancia (NU-1, NU-3, NU-4, NU-5 y N-49), uno de Langa de Duero (NU-2) y otro de Tiermes (NU-6). Todos los fragmentos proceden de fondos del Museo Arqueológico Nacional de Madrid excepto el fragmento N-49, que proviene del Museo Numantino de Soria y que ya fue estudiado en un trabajo arqueométrico anterior (GARCÍA-HERAS, 1998).

### 2.2 – Técnicas y procedimientos experimentales

El estudio acústico consistió en la determinación de la absorción y de la transmisión sonora del material cerámico y en la determinación y caracterización del espectro de frecuencias. El primer parámetro se determinó con dos tubos de impedancia de 330 mm de longitud, y 100 y 30 mm de diámetro, respectivamente, para un intervalo de frecuencias entre 50 Hz y 6 kHz. Las medidas se realizaron en probetas elaboradas en el laboratorio con las dos arcillas: Bailén y Castillejo, cocidas a 950°C en atmósfera oxidante con horno eléctrico. El segundo parámetro se determinó a partir de grabaciones de sonido e imagen con cada una de las reproducciones (archivos .mov y micrófonos de ½ pulgada situados a ~2 m de la trompeta), realizando escalas ascendentes y descendentes desde la nota La<sub>4</sub> (440 Hz a 20°C) hasta no poder emitir la nota más grave o aguda de la progresión. Los espectros de frecuencias se extrajeron con el programa DAW Reaper 64, con equalización en

tiempo real. Cada frecuencia se analizó en intervalos de 1-10 ms. Las grabaciones se realizaron por una profesional de la música especialista en aerófonos de boquilla (Fig. 1D, 1E).

El estudio arqueométrico se llevó a cabo mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX, PANalytical Axios, tubo de rodio 4 kW y 60 kV, pastilla prensada a partir de polvo molido de la muestra), examen petrográfico con lámina delgada (microscopio de polarización Kyowa Bio Pol 2 y cámara Moticam 2500), difracción de rayos X (DRX, PANalytical X'Pert MPD, 45 kV, 40 mA,  $2\theta=5-60^\circ$ ), porosimetría de intrusión de mercurio (Quantachrome PoreMaster) y análisis de microindentación: dureza y módulo de Young o de elasticidad longitudinal (Indentador Universal Apex-1, CETR equipments).

### 3 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 – Resultados acústicos

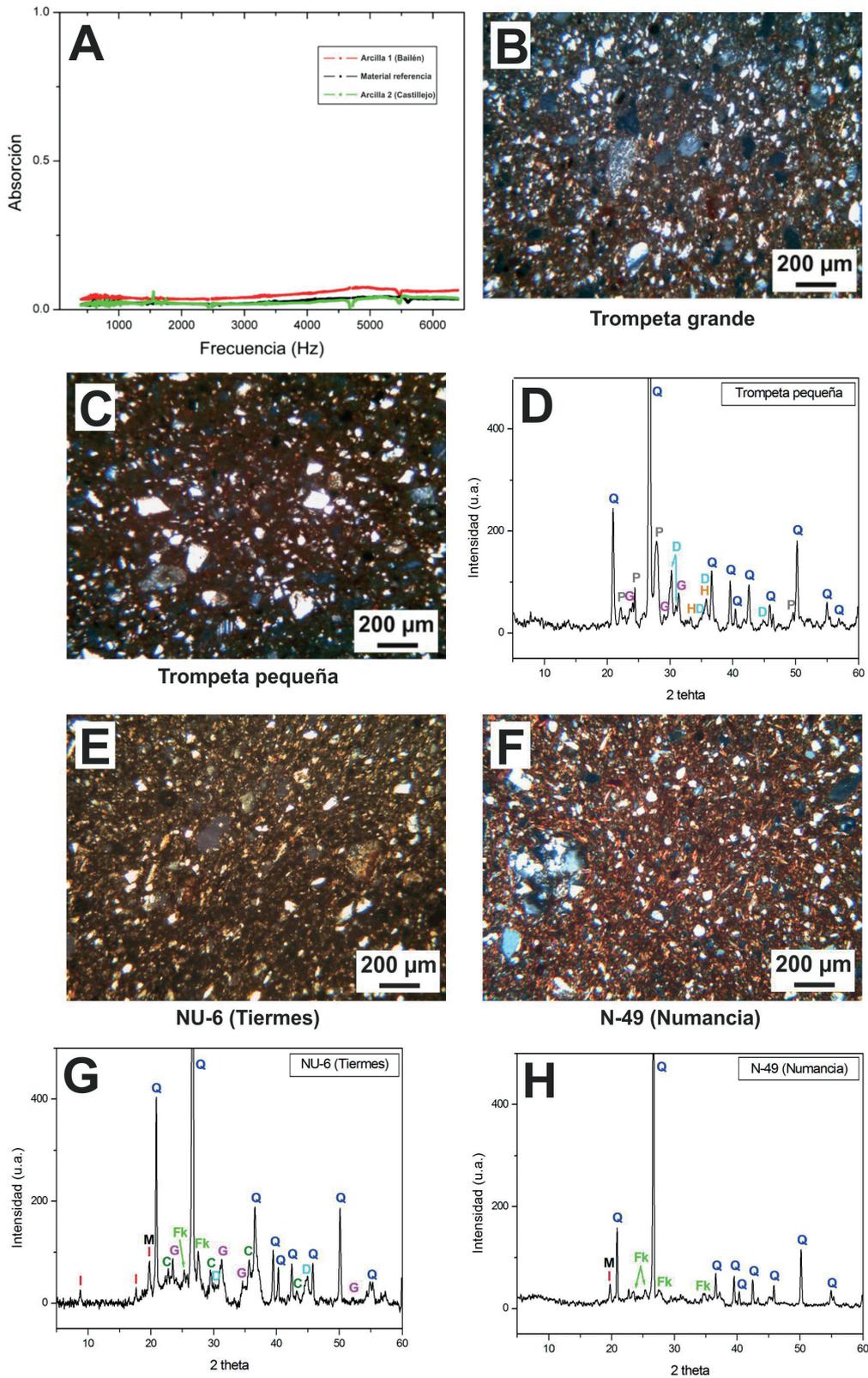
Las probetas cocidas en el laboratorio apenas mostraron absorción sonora entre 50 Hz y 6 kHz (Fig. 2A), lo cual indica que el sonido se transmite prácticamente en su totalidad y que el comportamiento del material cerámico en este caso es muy similar al de un material metálico.

Con la Trompeta grande se consiguió una extensión sonora de tres octavas (24 notas). En la escala descendente se llegó hasta Sol<sub>3</sub> (9 notas desde La<sub>4</sub>), y en la escala ascendente hasta La<sub>6</sub> (15 notas desde La<sub>4</sub>). En las notas centrales se apreciaron los tres o cuatro armónicos regulares a ~400 Hz, ~1 kHz y ~1,8 kHz. En las notas más graves también aparecían armónicos irregulares, que son aquellos armónicos que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la nota. Esto hace que el sonido resultara sucio y con poco timbre y que a veces se produjera ruido “no musical” (CALVO-MANZANO, 2002). En las notas más agudas es donde esta trompeta proyectó el sonido con mejor brillo y timbre, ya que en éstas se apreciaron un mayor número de armónicos regulares y además mostraron niveles de intensidad sonora más elevados.

Con la Trompeta pequeña se consiguió una extensión sonora de tres octavas y media (27 notas), algo mayor que en la Trompeta grande. En la escala descendente se llegó hasta Re<sub>3</sub> (12 notas desde La<sub>4</sub>), y en la escala ascendente hasta La<sub>6</sub> (15 notas desde La<sub>4</sub>). Aunque en esta trompeta se consiguieron hasta tres notas más graves que en la Trompeta grande, también se producía un sonido poco brillante en estas notas como consecuencia de la mayor presencia de armónicos irregulares. Asimismo y debido a la elevada intensidad sonora y a la mayor presencia de armónicos regulares, con la Trompeta pequeña también se consiguió un sonido con mejor brillo y timbre en las notas más agudas.

#### 3.2 – Resultados arqueométricos

Los resultados del análisis químico se muestran en la Tabla 1. Las reproducciones modernas se han elaborado con materiales arcillosos calcáreos (~12,00% en peso de CaO). El fragmento NU-2 mostró una concentración de CaO bastante cercana (9,57% en peso), mientras que en NU-6 fue algo menor (3,40% en peso). Los cinco ejemplares de Numancia se realizaron, por el contrario, con arcillas poco calcáreas, en torno a 1,00% en peso. Las concentraciones del resto de óxidos sugieren que los fragmentos de Langa de Duero (NU-2) y Tiermes (NU-6) se realizaron con materias primas arcillosas distintas que las empleadas en los fragmentos de Numancia (NU-1, NU-3, NU-4, NU-5 y N-49).



**Fig. 2** - Resultados. A) Absorción acústica de las probetas. B,C,E,F) Micrografías de lámina delgada de las reproducciones y de dos trompetas arqueológicas, nicoles cruzados. D,G,H) Difractogramas de rayos X. C Calcita. D Diópsido (piroxeno). Fk Feldespato potásico. G Gehlenita. H Hematita. I Illita. M Mica. P Plagioclasa. Q Cuarzo.

**Tabla 1** – Resultados del análisis químico mediante FRX (% en peso).

Muestra	Óxidos									
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	BaO
Trompeta grande	1,87	14,50	60,38	0,27	3,21	12,38	0,95	6,33	0,05	0,06
Trompeta pequeña	2,20	14,96	61,17	0,09	2,87	11,60	0,95	5,85	0,25	0,06
NU-1 (Numancia)	0,86	23,35	61,19	0,23	4,81	0,33	1,00	8,00	0,17	0,06
NU-2 (Langa de Duero)	1,00	21,48	55,17	0,10	4,17	9,47	0,91	7,51	0,15	0,04
NU-3 (Numancia)	0,80	22,70	62,23	0,10	4,87	0,98	1,06	7,01	0,20	0,05
NU-4 (Numancia)	0,71	22,90	61,14	0,14	4,78	0,90	1,20	8,02	0,17	0,04
NU-5 (Numancia)	0,80	22,67	63,64	0,19	4,06	0,86	1,00	6,57	0,16	0,05
NU-6 (Tiermes)	2,20	22,21	57,65	0,38	3,83	3,40	1,09	9,18	0,03	0,03
N-49 (Numancia)	0,52	25,08	62,00	0,05	4,53	0,64	0,86	6,32	–	–

– no determinado

La matriz arcillosa de las reproducciones resultó homogénea y poco birrefringente debido a áreas con inicios de vitrificación por efecto de la temperatura de cocción (950°C). En la Trompeta grande las inclusiones no superan 400 µm y se componen de cuarzo monocristalino, plagioclasa, calcita, mica y foraminíferos (conchas), con hábitos entre redondeados y sub-redondeados (Fig. 2B). En la Trompeta pequeña son de tamaño inferior a 350 µm y se componen de cuarzo mono y policristalino, plagioclasa, calcita, óxidos de hierro opacos y mica muy escasa (Fig. 2C). En general, las matrices arcillosas de las trompetas arqueológicas también se mostraron homogéneas aunque algo más birrefringentes y sin inicios de vitrificación. También se observó una buena selección de la materia prima, con tamaño de grano no superior a 450-500 µm. Las inclusiones se componen básicamente de cuarzo, cristales de mica y nódulos de óxido de hierro, con hábitos igualmente redondeados y sub-redondeados (Fig. 2E, 2F).

Los difractogramas resultantes de las reproducciones modernas son consistentes con la temperatura alcanzada por el horno tradicional en el que se cocieron (~900-950°C). Ausencia de minerales arcillosos como la illita, que se descompone por encima de 800-850°C, completa disociación de la calcita por encima de 850°C y presencia de fases neoformadas propias de arcillas calcáreas como gehlenita y piroxeno/diópsido, que comienzan a formarse a temperaturas superiores a 850°C (RICE, 2015, p. 99-116, 382) (Fig. 2D). El difractograma del fragmento NU-6 (Fig. 2G) es muy similar al de la Trompeta pequeña, aunque dicho fragmento debió cocerse a una temperatura ligeramente inferior, sobre ~850°C, ya que todavía conserva reflexiones de illita y calcita y las reflexiones de gehlenita y piroxeno/diópsido no aparecen tan desarrolladas. El fragmento N-49 también mostró un difractograma sin apenas reflexiones de illita o mica (Fig. 2H), aunque en este caso sin fases neoformadas por ser un material escasamente calcáreo, que sugiere también una temperatura próxima a 900°C. El resto de los fragmentos de Numancia se cocieron a temperaturas levemente inferiores a 850°C, puesto que todos los casos mostraron todavía reflexiones de illita y filosilicatos (mica).

La porosidad total (36,8-37,9%) y el diámetro de poros medio (0,2-0,3 nm) en las reproducciones fue muy similar (Tabla 2). El porcentaje de porosidad de las trompetas de otros lugares se situó entre 28,3% (NU-6) y 46,6% (NU-2), mientras que las de Numancia mostraron una porosidad bastante uniforme (31,7-37,0%) y próxima a la de las reproducciones. El diámetro de poros medio de los fragmentos NU-2 y NU-5 fue similar al de la Trompeta pequeña (0,3 nm).

Los valores de dureza se situaron entre 0,3 y 0,4 GPa en las reproducciones y entre 0,3 y 0,7 GPa en las trompetas antiguas. Los fragmentos NU-2 y NU-6 mostraron el valor más elevado (0,7 GPa), mientras que los

valores de los fragmentos de Numancia fueron muy similares a las reproducciones (Tabla 3). El valor de elasticidad longitudinal fue semejante en ambas reproducciones (13 GPa). Por el contrario, este parámetro mostró mucha dispersión en los fragmentos arqueológicos, entre 10 y 24 GPa. Los valores más próximos a las reproducciones fueron los de los fragmentos NU-4 (11 GPa) y N-49 (10 GPa).

**Tabla 2** – Distribución de tamaño y diámetro de poros y porosidad total.

Muestra	Tamaño de poros máximo ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro de poros medio (nm)	Porosidad total (%)
Trompeta grande	178,8	0,2	36,8
Trompeta pequeña	156,0	0,3	37,9
NU-1 (Numancia)	202,3	0,5	35,4
NU-2 (Langa de Duero)	211,5	0,3	46,6
NU-3 (Numancia)	212,4	0,1	37,0
NU-4 (Numancia)	235,8	0,4	34,2
NU-5 (Numancia)	236,6	0,3	36,5
NU-6 (Tiermes)	220,6	0,1	28,3
N-49 (Numancia)	118,6	0,6	31,7

**Tabla 3** – Resultados de microindentación: dureza y módulo de Young.

Muestra	Dureza (GPa)	Módulo de Young (GPa)
	Media (Des. est.)	Media (Des. est.)
Trompeta grande	0,3 (0,1)	13 (2,93)
Trompeta pequeña	0,4 (0,1)	13 (3,04)
NU-1 (Numancia)	0,5 (0,1)	21 (0,13)
NU-2 (Langa de Duero)	0,7 (0,2)	24 (4,08)
NU-3 (Numancia)	0,5 (0,2)	19 (3,10)
NU-4 (Numancia)	0,3 (0,1)	11 (2,84)
NU-5 (Numancia)	---	---
NU-6 (Tiermes)	0,7 (0,2)	24 (5,11)
N-49 (Numancia)	0,4 (0,2)	10 (2,23)

– No se analizó debido a que el fragmento no tenía tamaño suficiente.  
Des. est. Desviación estándar.

### 3.3 – Síntesis y valoración de ambos resultados

El material cerámico de las reproducciones no absorbe el sonido en el intervalo de frecuencias 50 Hz-6 kHz y con ellas se pueden emitir y articular notas y melodías sencillas en una extensión sonora de más de tres octavas, con un timbre aceptable, especialmente en la zona central y en las notas más agudas. Según los armónicos, se trata de instrumentos de viento de afinación indefinida. Las reproducciones sugieren por tanto que, sobre todo, eran instrumentos musicales, aunque con ellos también pudieran hacerse señales o ruidos.

Las trompetas celtibéricas se pueden reproducir con técnicas alfareras tradicionales. Con una cocción en horno de doble cámara, atmósfera oxidante y temperatura de  $\sim 950^\circ\text{C}$  se obtienen materiales cerámicos de matriz homogénea, porosidad total entre 36,8 y 37,9%, tamaño de poro máximo inferior a  $180\ \mu\text{m}$  y valores bajos de dureza y elasticidad. Las trompetas arqueológicas se elaboraron con materiales calcáreos y no calcáreos cocidos a temperaturas algo inferiores ( $\sim 850^\circ\text{C}$ ). Se producía así también un material cerámico de matriz

homogénea, porosidad total muy similar, tamaño de poro máximo levemente superior (200-240 µm) y valores de dureza y elasticidad solo muy ligeramente superiores. Por todo ello se puede mantener que, desde un punto de vista tecnológico, las reproducciones y los ejemplares antiguos se han realizado con materiales muy similares y, por tanto, sus propiedades son equiparables. El trabajo demuestra así los buenos resultados obtenidos al combinar Arqueometría y Acústica en el estudio de instrumentos musicales arqueológicos elaborados con material cerámico.

#### 4 - CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que las trompetas cerámicas celtibéricas de fines de la Edad del Hierro, aunque no se descarta que también se utilizaran para hacer señales o ruidos, pueden emitir distintas notas y articular pasajes sonoros sencillos. Los datos obtenidos indican que los celtíberos elaboraban estas trompetas con una clara finalidad sonora y que, desde un punto de vista acústico, resultan perfectamente funcionales para articular melodías. Son por tanto verdaderos instrumentos musicales que resultan aptos para hacer música como solistas, en grupos de trompetas o acompañados de otros instrumentos.

#### AGRADECIMIENTOS

Proyecto europeo EMAP (European Music Archaeology Project, ref. 536370-CU-1-2013), programa Top Heritage (S2018/NMT-4372, CAM-EU), red TechnoHeritage y PTI-PAIS (Plataforma Temática Interdisciplinar, CSIC). Se agradece la colaboración de Estefanía García Barrajón (Profesora Superior de tuba y bombardino), A. Rodero y E. Manso (Museo Arqueológico Nacional, Madrid), G. Palero y M. Fernández (Laboratorio de Fonética, ILLA, CSIC) y S. Expósito (ETSI Caminos, Universidad de Castilla-La Mancha).

#### REFERENCIAS

- CALVO-MANZANO, A. (2002) – *Acústica físico-musical*. Madrid: Real Musical.
- GARCÍA-HERAS, M. (1998) – *Caracterización arqueométrica de la producción cerámica numantina*. Oxford: Archaeopress, BAR Int. Ser. 692.
- JIMÉNEZ PASALODOS, R. (2012) – The archaeology of the musical performance: the example of Second Iron Age aerophones. En COMPANY, Gonzalo *et al.*, coords. *Actas de las V Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica*. Santiago de Compostela: JAS, p. 181-186.
- JIMÉNEZ PASALODOS, R.; GARCÍA, C.; PADILLA FERNÁNDEZ, J. J. (2013) – Las trompetas numantinas: aproximación a su estudio acústico en una cocción experimental con una reproducción de un horno de la Segunda Edad del Hierro. En PALOMO, A.; PIQUÉ, R.; TERRADAS, X. (eds.), *Experimentación en Arqueología*. Girona: Museu d'Arqueologia de Catalunya, p. 387-395.
- PADILLA FERNÁNDEZ, J. J.; JIMÉNEZ PASALODOS, R.; GARCÍA, C. & CHAPON, L. (2013) – La cadena técnico-operativa del alfar de Las Cogotas (Cardeñosa, Ávila): la construcción experimental de un horno cerámico de la II Edad del Hierro. En PALOMO, A.; PIQUÉ, R.; TERRADAS, X. (eds.), *Experimentación en Arqueología*. Girona: Museu d'Arqueologia de Catalunya, p. 467-475.
- PASTOR EIXARCH, J. M. (1987) – Las trompas de guerra celtibéricas. *Celtiberia* 73, p. 7-19.
- SOPENA GENZOR, G. (1995) – *Ética y ritual. Aproximación al estudio de la religiosidad de los pueblos celtibéricos*. Zaragoza: Institución Fernando El Católico.
- RICE, Prudence M. (2015) – *Pottery analysis: a sourcebook*. Chicago: Chicago University Press, 2<sup>nd</sup> edition.

## **PRIMEROS AVANCES SOBRE EL ESTUDIO DEL TESORO DE TOMARES**

### ***EARLY PROGRESS ON THE STUDY OF THE TOMARES HOARD***

Blanca Gómez-Tubío<sup>1</sup>, Simona Scrivano<sup>2</sup>, Inés Ortega-Feliu<sup>1</sup>, Francisco J. Ager<sup>3</sup>, Miguel Ángel Respaldiza<sup>4</sup>, Noé Conejo<sup>5</sup> & Francisco J. Sánchez<sup>6</sup>

#### **Abstract**

In 2016, in the municipality of Tomares (Seville), a set of 19 amphorae containing Roman coins (about 53 000) were accidentally found. According to the information obtained so far, the hoard is dated between 293 and 312 CE, which corresponds to the historical period known as Tetrarchy, and the coins that compose it come from the numerous mints that were active at that time, predominantly specimens produced in western mints.

The coins are *nummi* that were manufactured using a quaternary alloy (Cu, Ag, Sn and Pb) with copper as the main element.

All the mints have in common that the silver content is found to be higher in the oldest coins, decreasing until reaching the lowest values in coins minted between 308 and 312 CE. Tin content presents the opposite behaviour, except in the *Aquileia* and *Ticinum* mints where it shows slight variations.

*Keywords:* coins, *nummi*, bronze, Tetrarchy, X-ray fluorescence.

## **1 – INTRODUCCIÓN**

El tesoro de Tomares (Sevilla) es un conjunto numismático compuesto aproximadamente de 53 000 monedas acuñadas entre finales del siglo III y principios del siglo IV, que se encontraban almacenadas en ánforas transportadoras de aceite. Su descubrimiento ocurrió de manera fortuita el 27 de abril de 2016, durante la construcción de una canalización situada en el Parque de El Zaudín de la localidad anteriormente referida. La rápida actuación de los operarios encargados de las obras, de la Guardia Civil y de la Delegación Territorial

---

<sup>1</sup> Dpto. Física Aplicada III, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, España. Centro Nacional de Aceleradores (US-CSIC-JA), C/Thomas A. Edison 7, 41092 Sevilla, España. tubio@us.es

<sup>2</sup> Centro de Investigación Tecnológica e Innovación–Laboratorio de Rayos X, Universidad de Sevilla, España. Centro Nacional de Aceleradores (US-CSIC-JA), C/Thomas A. Edison 7, 41092 Sevilla, España.

<sup>3</sup> Centro Nacional de Aceleradores (US-CSIC-JA), C/Thomas A. Edison 7, 41092 Sevilla, España. Dpto. Física Aplicada I, Universidad de Sevilla, España.

<sup>4</sup> Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla, España. Centro Nacional de Aceleradores (US-CSIC-JA), C/Thomas A. Edison 7, 41092 Sevilla, España.

<sup>5</sup> Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla, España.

<sup>6</sup> Centro de Investigación Tecnológica e Innovación–Laboratorio de Rayos X, Universidad de Sevilla, España

de Cultura de Sevilla de la Junta de Andalucía, permitieron la recuperación de todas las monedas almacenadas en un conjunto de 19 ánforas: 8 se encontraban aplastadas y fragmentadas, por lo que todo su contenido estaba disperso, 2 conservaban su contenido a pesar de las roturas, y 9 fueron extraídas intactas y completamente selladas (NAVARRO ORTEGA & CHAVES TRISTÁN, 2019, p. 206-207). Sobre el lugar del hallazgo fue realizado posteriormente un sondeo estratigráfico de 4x4 m<sup>2</sup> a fin de poder contextualizar el entorno donde fueron tesorizadas las monedas (VÁZQUEZ & GARRIDO, 2017). El resultado de esta intervención permitió saber que las ánforas fueron depositadas en un patio o pórtico, con función de almacén, situado en el interior de un edificio rural con varias fases constructivas, siendo la más reciente de cronología tardía (ss. IV-V d.C.) (VÁZQUEZ *et al.*, 2017, p. 172).

Tanto las monedas como las ánforas fueron depositadas el mismo día de su hallazgo en el Museo Arqueológico de Sevilla, donde se procedió a la contabilización de las monedas procedentes de las 8 ánforas fragmentadas (22 474 ejemplares alojadas en sacos de conservación), a la recomposición de los fragmentos y a la conservación de las ánforas selladas. El estudio tipológico de estos contenedores cerámicos determinó que se trataba de ánforas del tipo Tejarillo 1, que fueron fabricadas en los alfares situados en el valle del Guadalquivir durante los siglos III y IV (CHAVES TRISTÁN, 2017, p. 240-241).

Desde el comienzo fue patente la necesidad de estructurar un plan de trabajo de investigación multidisciplinar para abordar el estudio del tesoro desde distintos puntos de vista. Para ello, el 26 de enero de 2018 se firmó el convenio titulado “Convenio de colaboración entre la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y la Universidad de Sevilla para el estudio y difusión del conjunto monetario del Olivar del Zaudín, Tomares, Sevilla”, que involucra al Vicerrectorado de Investigación, al Centro de Investigación Tecnológica e Innovación (CITIUS), al Centro Nacional de Aceleradores y a un grupo de especialistas del Departamento de Arqueología y Prehistoria en la promoción del estudio del tesoro.

## 2 - METODOLOGÍA

En primer lugar, se realizó una inspección visual de cada una de las monedas para separarlas en dos grandes grupos, en función de si el estado de conservación que presentaban permitía o no su lectura para la catalogación. Las monedas ilegibles se sometieron a un proceso de limpieza.

Previamente se realizó un estudio para determinar la metodología más adecuada, y se optó por el siguiente procedimiento: las monedas se someten a sucesivos lavados con agua desmineralizada y detergente neutro y son cepilladas para la eliminación de la tierra adherida a la superficie. Después se sumergen en baños de sesquicarbonato de sodio durante 2 semanas para eliminar parte de los productos de corrosión, sobre todo los cloruros, y a la vez se van realizando las mediciones de pH en cada bandeja de monedas tras cada uno de los baños realizados. Finalmente se procede a la estabilización con Benzotriazol (BTA) de aquellas monedas que presenten cloruros.

En segundo lugar, se diseñó una ficha catalográfica convencional donde figura por este orden Número de Registro, Emisor, Ceca, Oficina, Fecha de Acuñación, Descripción del Anverso, Descripción del Reverso, Descripción del Exergo, Peso (en gramos con dos décimas), Módulo (en milímetros), Eje de Cuños (en horas del reloj), Referencia Catalográfica (según el *Roman Imperial Coinage*) y un espacio habilitado para describir observaciones de interés. Cada moneda ha recibido por parte del Museo Arqueológico de Sevilla un número de registro compuesto por el número de intervención (DJ2016/06), seguido de un guion, y un *current number* de cinco dígitos (DJ2016/06-00000).

La caracterización química de las aleaciones se llevó a cabo mediante fluorescencia de rayos X (XRF), analizando todas las monedas restauradas y catalogadas hasta el momento. Se utilizó el equipo de XRF de la marca Fischer del CITIUS, un equipo de reciente adquisición (financiado por la Junta de Andalucía a través de los fondos FEDER), especialmente pensado para el análisis de objetos metálicos, que permite el análisis cuantitativo de un elevado número de muestras en poco tiempo. El equipo consta de un tubo con ánodo de molibdeno y con un tamaño de haz de 1mm. Los análisis han sido llevados a cabo en aire empleando un voltaje de 50 kV, una intensidad de 500  $\mu$ A y un filtro de aluminio de 500  $\mu$ m. Cada moneda ha sido analizada en 3 puntos por cada cara.

### 3 – RESULTADOS

Todas las monedas son *nummi*, emitidas durante el periodo histórico conocido como La Tetrarquía. Las piezas más antiguas entre las hasta ahora catalogadas no son anteriores al 293 d.C., mientras que las más modernas no sobrepasan el 312 d.C. (CHAVES TRISTÁN, 2017, p. 243). El grueso del conjunto que se presenta en este trabajo lo componen ejemplares de gran peso acuñados durante la Primera Tetrarquía (293-305 d.C.), seguidos por los emitidos durante la Segunda (305-306 d.C.) y la Cuarta Tetrarquía (307-311 d.C.). Hasta ahora no han aparecido los característicos antoninianos radiados emitidos durante la Primera Tetrarquía, ni tampoco piezas del siglo III, habituales en este tipo de tesoros (CHAVES TRISTÁN, 2017, p. 245-249).

Por lo que respecta a los emisores, han sido documentados en el conjunto catalogado los nueve gobernantes del periodo tetrárquico (Diocleciano, Maximiano, Constancio y Galerio, Constantino, Severo, Maximino, Licinio y Majencio), quienes acuñaron moneda tanto con el título de Augusto como el de César. En cuanto a los lugares de emisión, han sido documentadas las 16 cecas operativas durante la Tetrarquía: *Londinium*, *Lugdunum*, *Treveri*, *Ticinum*, *Aquileia*, *Roma*, *Ostia*, *Carthago* en Occidente y *Siscia*, *Serica*, *Heraclea*, *Tesalonica*, *Nicomedia*, *Cyzico*, *Antioquía* y *Alexandria* en Oriente. Sin embargo, en el conjunto que se presenta no hay ejemplares de la ceca de *Ostia*.

**TABLA 1** – Número de monedas y porcentaje en cada ceca

Ceca	Nº monedas	Porcentaje (%)
Alexandria	5	0,23
Antioquía	12	0,54
Aquileia	109	4,93
Carthago	525	23,7
Cyzico	10	0,45
Heraclea	14	0,63
Londinium	116	5,23
Lugdunum	224	10,1
Nicomedia	2	0,09
Roma	491	22,1
Serica	2	0,09
Siscia	39	1,76
Tesalónica	3	0,13
Ticinum	414	18,7
Treveri	252	11,4
TOTAL	2218	100

En la Tabla 1 se muestra el número de monedas procedentes de cada una de las 15 cecas, así como sus porcentajes. Las cecas orientales tienen una presencia puramente testimonial (CHAVES TRISTÁN, 2017, p. 244) pues representan menos del 4% del conjunto estudiado. En cambio de las cecas occidentales de *Carthago*, *Roma*, *Ticinum*, *Treveri* y *Lugdunum* proceden la mayor parte de las monedas, es decir un 86%.

Aunque el conjunto analizado solo representa algo más de un 4% de las monedas que forman parte del tesoro, esta cantidad puede ser orientativa para conocer su composición monetaria – un claro aprovisionamiento occidental – pero que debe ser tomada con cierta cautela hasta que exista una mayor cantidad de piezas estudiadas.

Con la finalidad de abordar la discusión de los resultados analíticos, se han agrupado los ejemplares en seis grupos en función del periodo de acuñación. En la Tabla 2 se muestra para cada periodo el número de monedas acuñadas en cada ceca.

Tabla 2 – Monedas acuñadas en las diferentes cecas en cada periodo

Ceca	293-301	301-305	305-306	306-307	307	308-312
Aquileia	56	15	25	12	1	0
Antioquía	9	3				
Alexandria	5					
Carthago	377	19	112	11	6	
Cyzico	10					
Heraclea	8		2			4
Londinium	58	27	20		10	1
Lugdunum	35	105	22	2	45	15
Nicomedia	1	1				
Roma	148	209	103	25	4	2
Serica			1			1
Siscia	30	5	4			
Tesalónica	1	2				
Ticinum	235	34	95	25	14	11
Treveri	87	87	52		20	6
<b>TOTAL</b>	<b>1060</b>	<b>507</b>	<b>436</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>40</b>

Casi la mitad de las monedas se acuñaron entre los años 293 y 301, siendo la ceca de *Carthago* la más representativa seguida de *Ticinum* y *Roma*. Durante el periodo comprendido del 301 al 305 el 62% de los ejemplares proceden de las cecas de *Roma* y *Lugdunum*. En cambio, en el siguiente periodo (305-306), de nuevo las monedas procedentes de *Carthago*, *Roma* y *Ticinum* vuelven a ser las más numerosas. En los restantes periodos van alternándose las cecas de *Roma*, *Ticinum* y *Lugdunum* como las más representativas, si bien hay que tener en cuenta que el número de monedas acuñadas es bastante inferior al de los periodos anteriores.

A partir del análisis de fluorescencia de rayos X se ha podido comprobar que se utilizó una aleación cuaternaria, siendo el cobre el elemento mayoritario. La composición promedio de los cuatros elementos que forman parte de la aleación (Cu, Ag, Sn y Pb) junto con la desviación estándar se muestran en la Tabla 3.

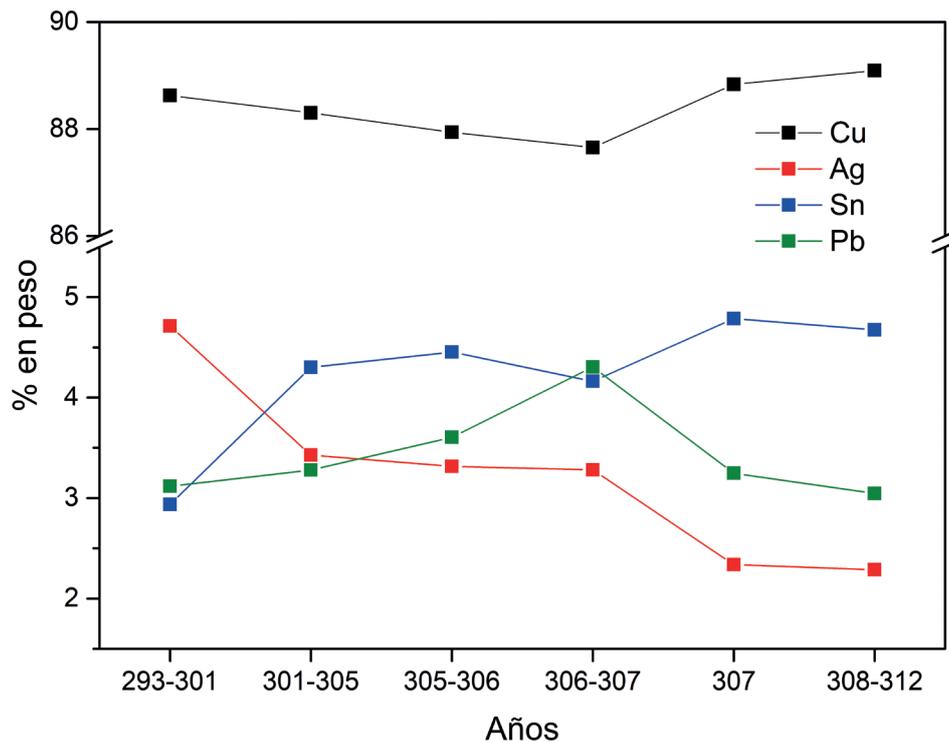
**TABLA 3** – Composición promedio (en peso) de las monedas analizadas mediante la técnica de fluorescencia de rayos X

Elemento	% en peso	Desviación estándar $\sigma$	Valor máximo	Valor mínimo
Cu	88,4	2,6	96	72,5
Ag	4,0	1,6	15	0,09
Sn	3,7	1,6	9	0,04
Pb	3,3	1,8	18	0,63

La composición de la mayoría de las monedas está dentro del intervalo comprendido entre el valor promedio y la desviación estándar, aunque hay otras cuya composición está fuera de esos rangos, como se observa en los valores máximos y mínimos que alcanzan las concentraciones de los cuatro elementos que forman la aleación (Tabla 3). Hay que tener en cuenta que el análisis es superficial, por lo que el valor máximo obtenido en la cantidad de plomo es consecuencia de los segregados de este elemento que se forman en las aleaciones de bronce.

Los valores altos de plata son de un grupo de monedas que presentan una superficie plateada, seguramente debido a una pátina superficial de plata (HEDGES Y ROBINS, 1963), todas ellas acuñadas antes del 301 d.C.

Durante la Tetrarquía se llevaron a cabo varias reformas monetarias que propiciaron una paulatina reducción de los pesos de los *nummi* y cambios en las respectivas aleaciones (DEPEYROT, 1992, p. 41-43). Para poder profundizar en este aspecto hemos representado los valores promedios de los cuatro elementos que componen la aleación en cada uno de los periodos (Fig. 1).



**Fig. 1** – Concentración promedio de los elementos mayoritarios presentes en las monedas del tesoro de Tomares.

Se observa que las monedas más antiguas se caracterizan por tener la menor cantidad de estaño y plomo (alrededor del 3%) y la mayor concentración de plata, cerca del 5%, que disminuye en el siguiente periodo al valor de 3,4% permaneciendo prácticamente constante hasta el año 307, donde sufre otra devaluación disminuyendo hasta el 2,3%, el cual se mantiene hasta el año 312.

La evolución de la concentración de estaño tiene un comportamiento opuesto a la que se observa en la plata. Las concentraciones más bajas de estaño las tienen las monedas acuñadas durante el primer periodo, en el siguiente alcanza un valor promedio de 4,3% el cual se mantiene constante, incrementándose de nuevo en las acuñaciones del año 307, donde alcanza el máximo valor. Por último, el comportamiento que tiene el plomo es parecida al del estaño, aumenta gradualmente hasta las emisiones del 307, momento en el que la concentración de plomo baja alcanzando valores similares a las monedas más antiguas.

Como se ha mencionado antes, las cecas con mayor número de ejemplares varían según el año de acuñación, por lo que la evolución observada en la figura 1 podría estar influenciada por la ceca con mayor representación en cada periodo. Para comprobarlo se ha representado en la figura 2 las concentraciones de plata, estaño y plomo de las cecas de *Aquileia*, *Carthago*, *Londinium*, *Lugdunum*, *Roma*, *Ticinum* y *Treveri*, aquellas que tienen ejemplares en la mayoría de los periodos (Tabla 2).

En todas las cecas se observa (Fig. 2) que las cantidades de plata son mayores en las monedas más antiguas y las que tienen menor concentración de Ag son la más recientes, coincidiendo este comportamiento con el observado a nivel global (Fig. 1). Sin embargo, no sucede lo mismo en el estaño, donde se evidencian mayores fluctuaciones, y en el plomo. En concreto, la concentración de estaño en las cecas de *Aquileia* y *Ticinum* presenta muy pocas variaciones a lo largo del tiempo de emisión; no obstante, sí se observan cambios en las otras cinco cecas. Como se comprueba en la figura 2, las emisiones más antiguas tienen todas las mismas cantidades de estaño, 2,5%; este valor aumenta hasta un 4,5% en el siguiente periodo, aunque a partir de ese momento el comportamiento de cada una de las cecas es muy diferente. Por ejemplo, en las monedas de *Roma* continúa aumentando la proporción de estaño hasta un valor cercano al 6%, y a partir del año 306 hay pequeñas variaciones. Sin embargo, en *Carthago* las emisiones posteriores al 305 tienen un valor de estaño inferior a las anteriores.

Respecto al plomo, la ceca de *Lugdunum* mantiene la concentración de este elemento casi constante. Los ejemplares de las cecas de *Londinium*, *Ticinum*, *Aquileia* y *Treveri* presentan variaciones comprendidas entre los valores de 2,5 y 3,5%. La moneda de *Roma* y *Carthago* tienen en común las mismas concentraciones de plomo en las primeras emisiones, diferenciándose a partir del año 305. En concreto en la ceca de *Carthago* se mantiene la concentración de Pb alrededor del 3,8% hasta las del año 307, momento en el que aumenta hasta el 6,5%; en cambio, la ceca de *Roma* va incrementando la cantidad de plomo alcanzando un máximo en los años 306-307.

Autores como Depeyrot, atendiendo a los análisis realizados por Cope y Bastien sobre la moneda acuñada en *Lugdunum*, han expuesto que este aumento del estaño y el plomo tenía un sentido práctico, ya que su incremento generaba cospeles mucho más blandos que permitían un mejor plateado de la superficie con una cantidad de plata inferior (DEPEYROT, 1992, p. 41). El resultado de estos análisis probaría que esta práctica mantenida por Depeyrot no solo era propia de las cecas dominadas por Constantino (*Londinium*, *Lugdunum* y *Treveri*), las cuales a partir del año 307 hacen disminuir el peso de sus acuñaciones de vellón (HALL, 1996, p. 163; SAN VICENTE, 1999, p. 68-69), sino que también es extensible a otras cecas del Imperio, las cuales solucionarían el descenso del contenido argénteo en esas acuñaciones con el aumento de estaño y/o plomo en las respectivas aleaciones.

## 4 - CONCLUSIONES

Todas las monedas del tesoro son *nummi* acuñados en las 15 cecas que estaban operativas durante el periodo de la Tetrarquía. La mayor parte de las monedas proceden de las cecas occidentales de *Carthago*, *Roma*, *Ticinum*, *Treveri* y *Lugdunum*.

Cobre, plata, estaño y plomo son los elementos que forman parte de la aleación de las monedas, aunque las concentraciones no se han mantenido constante a lo largo del periodo de acuñación comprendido entre los años 293 y 312 d.C.

Todas las cecas tienen en común que la concentración de plata es menor en las monedas más recientes y mayor en las más antiguas. Respecto a la variación del estaño, salvo las cecas de *Aquileia* y *Ticinum* que mantienen prácticamente constante la cantidad de estaño, las restantes cecas utilizan al principio una aleación con un 2,5% de estaño y aumenta su proporción en los siguientes periodos.

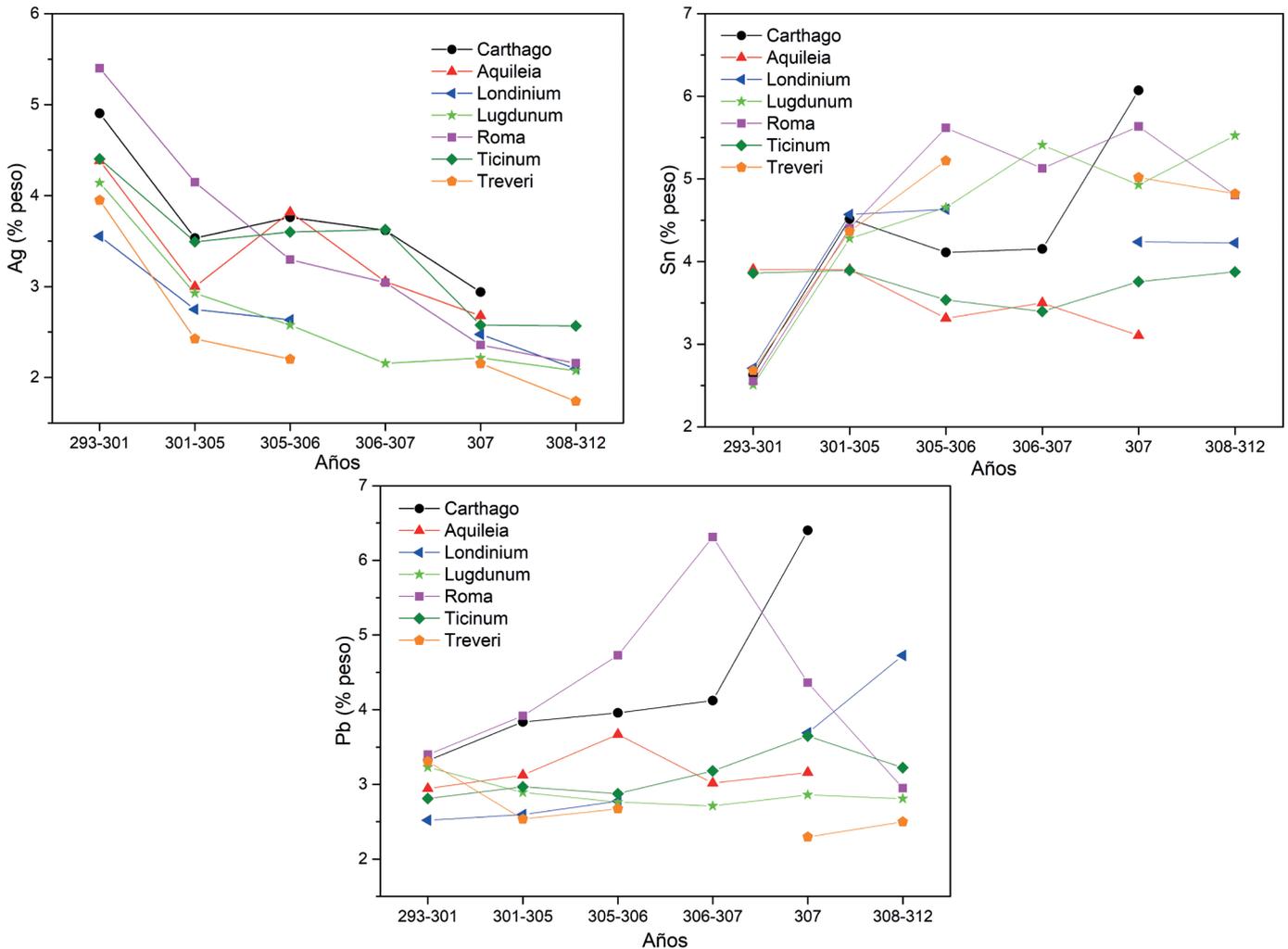


Fig. 2 - Evolución de la concentración de plata, estaño y plomo en las cecas de *Aquileia*, *Carthago*, *Londinium*, *Lugdunum*, *Roma*, *Ticinum* y *Treveri*.

La concentración de plomo en la mayoría de las cecas varía entre 2,5% y 3,5%. Sin embargo, en *Roma* y *Carthago* aumenta por encima del 6% en los años 306 y 307 respectivamente, y las monedas de *Lugdunum* se caracterizan por mantener constante este elemento.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Proyecto PGC2018-093511-B-I00 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Los autores agradecen al *V y VI Plan Propio de Investigación de la Universidad de Sevilla* por la financiación recibida.

## REFERENCIAS

- CHAVES TRISTÁN, F. (2017) – Reflexiones y estado de la cuestión en torno al Tesoro de “El Zaudín” (Tomares, Sevilla). *Annali dell’Istituto Italiano di Numismática*. Roma. 63, p. 235-268.
- DEPEYROT, G. (1992) – Le système monétaire de Dioclétien á la fin de l’Empire romain. *Revue Belge de Numismatique*. Bélgica. 138, p. 33-106.
- HARL, K. W. (1996) – *Roman Economy 300 B.C. to A.D. 700*. Baltimore: The Johns Hopkins Press.
- HEDGES, E. S. & ROBINS, D. A. (1963) – Examination of an ancient british bronze coin. *The Numismatic Chronicle and Journal of the Royal Numismatic Society*, vol. 3, p. 233–236.
- NAVARRO ORTEGA, A. & CHAVES TRISTÁN, F. (2019) – El Tesoro de “El Zaudín” (Tomares, Sevilla). Proyecto y Realidad. In CALLEGHER, B. (ed.), *Too Big to Study?/ Troppo grandi da studiare?*. Trieste: Edizioni Università di Trieste. p. 203- 215.
- SAN VICENTE, J. I. (1999) – *Circulación monetaria en Hispania durante el siglo IV d.C*. Madrid: Museo Casa de la Moneda.
- VÁZQUEZ, J.; GARRIDO, P.; RODRÍGUEZ, J.; SANTOS, A.; LÓPEZ, R. & HERRERA, M. (2017) – Una puerta al pasado. El sondeo arqueológico y la secuencia estratigráfica asociada al conjunto monetario en ánforas hallado en el parque Olivar del Zaudín de Tomares (Sevilla). In VÁZQUEZ, J.; GARRIDO, P. (ed.), *El tesoro del Zaudín: Contextualización arqueológica del conjunto numismático tardoantiguo de Tomares (Sevilla)*. Sevilla. p. 153-190.

## **CARACTERIZAÇÃO DAS ACTIVIDADES METALÚRGICAS NA CASA ATRIBUÍDA A CANTABER (CONIMBRIGA, PROV. LUSITANIA, PORTUGAL)**

### ***CHARACTERIZATION OF THE METALLURGICAL ACTIVITIES IN THE HOUSE ATTRIBUTED TO CANTABER (CONIMBRIGA, PROV. LUSITANIA, PORTUGAL)***

Virgílio Hipólito Correia<sup>1</sup>, Pedro Valério<sup>2</sup>, M. Fátima Araújo<sup>2</sup> & Rafaela Alves<sup>3</sup>

#### **Abstract**

The study of materials from Casa de Cantaber (p-EDXRF and micro-EDXRF), in Conimbriga, allows to contextualize the traces of metallurgical activity there known in the process of refining gold by liquidation.

The context chronology (5th century AD) is presented; its implantation in the building is discussed; and the conclusions that can be drawn from it are presented.

*Keywords:* Conimbriga, late-Roman, metallurgy, liquation, gold

## **1 - INTRODUÇÃO**

A partir de 1930 foi escavada uma área residencial em Conimbriga, designada primeiramente por “Palácio intra-muros” e, mais recentemente por “Casa atribuída a Cantaber” (CORREIA, 1935; DGEMN, 1948), onde se vieram a identificar alguns vestígios de actividade metalúrgica.

As condições da escavação original levaram à remoção, sem registo, de muitas das evidências da ocupação tardia, mas sobreviveram os restos de um forno, que escavações posteriores vieram a identificar como estando associado a um silo, um dos vários reconhecidos na área da casa. Estas evidências estão parcialmente publicadas (DE MAN 2006, p. 129-140).

As escavações dos anos de 1930 na Casa atribuída a Cantaber, nas condições e com a metodologia que foram conduzidas, resultaram na remoção sem registo de toda a evidência de ocupações contemporâneas da utilização da casa e posteriores, já que, ao serem conduzidas intencionalmente até aos níveis de identificação das construções originais, removeram todo o restante.

Nesta circunstância, o forno metalúrgico identificado em C 22A sobreviveu à escavação, mas as escavações arqueológicas de 1995-1998 apenas puderam registar a presença de alguns silos com material tardio, já que as

---

<sup>1</sup> Museu Monográfico de Conimbriga, Condeixa-a-Velha 3150-150 CONDEIXA, Portugal, Museu Nacional, Centro de Estudos Clássicos e Humanísticos UC. virgiliocorreia@mmconimbriga@dgpc.pt

<sup>2</sup> Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico, UL.

<sup>3</sup> Mestrado em Arqueologia e Território, Faculdade de Letras, UC.

evidências localizadas a níveis superiores aos pavimentos originais da casa tinham sido obliteradas (CORREIA, 2001, p. 86). A presença desses silos faz parte de um fenómeno generalizado de internalização, na área urbana, dos processos de gestão de resíduos sólidos (REIS *et al.*, 2011, p. 196-198).

Podem actualmente identificar-se quatro contextos relevantes para a caracterização das actividades metalúrgicas levadas a cabo na casa:

1. Os restos de um forno conservados em C 22A, e nomeadamente a extensa camada de deposição metálica depositada numa das suas paredes.  
O forno foi construído, essencialmente, com materiais cerâmicos de construção reutilizados (incluindo quer tijolos, quer *tegulae*), composto por dois muretes, um dos quais adossado à parede do compartimento e o outro paralelo; no topo da câmara de combustão assim desenhada, um tijolo colocado transversalmente limita o espaço. Perderam-se quaisquer aspectos significativos da fornalha, mas as dimensões globais parecem estar conservadas.
2. O silo localizado no canto NE do mesmo compartimento (entre o extradorso do forno e o canto da sala) cujo enchimento incluía restos de escória e restos ósseos que foram datados radiocarbonicamente (DE MAN & SOARES, 2007, p. 288. Tabela 1).
3. Outro silo localizado em C 21, cuja datação radiocarbónica (*id. ibid.*) é genericamente coincidente com a anterior, ainda que não se tenham registado vestígios de actividade metalúrgica.

**Tabela 1** – Datações radiocarbónicas da Casa de Cantaber (segundo DE MAN e SOARES 2007, p. 288)

Ref. Lab.	Proveniência	$\delta^{13}C$ (‰)	Data 14C (BP)	Data calibrada (cal AD)	
				1 $\sigma$	2 $\sigma$
Sac-2109	C34-silo 1996 (1)	-21,5	1200±45	770-890	690-960
Sac-2107	C21-silo B (2)	-20,0	1550±40	435-555	425-595
Sac-2070	C22-silo A (1)	-23,1	1610±50	410-530	330-570

4. Um contexto situado no peristilo (C 11), localizado no que provavelmente foi o resto de um silo de limites não registados, que incluía um significativo conjunto de fragmentos de cerâmica utilitária, escória e um pequeno cadinho de fundição (Fig. 1A). A localização deste contexto obriga a assumir que a utilização do implúvio central como lixeira é posterior à sua inutilização como tanque decorativo, facto esse que corresponde a um contexto onde se identificaram dois enterramentos com moedas de ouro de Arcádio, que outras considerações levam a considerar como contemporâneo dos saques suévicos de 465-468 (CORREIA, 1935, p. 4; RUIVO, n.p.). As cerâmicas aí recolhidas (Hayes forma 99; 1972, 155, entre outras) permitem apontar uma cronologia para o contexto a partir do primeiro quartel do séc. VI.

## 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS ACTIVIDADES METALÚRGICAS

### 2.1 – Metodologia

As observações por microscopia óptica no cadinho cerâmico (C11-1) e nas amostras de escória (C22-1, C22-2, C22-3 e C22-4) foram efectuadas num equipamento Zeiss Discovery V20 com uma ampliação máxima de 150x. As análises elementares por p-EDXRF das amostras de escória envolveram um espectrómetro portátil

Bruker S1 TITAN 600 equipado com uma ampola de raios X com ânodo de Rh, um colimador de 5 mm e um detector de Si (SSD). De forma a otimizar a identificação dos diversos elementos químicos, as escórias foram medidas com diferentes condições de análise: condição 1 – filtro de Ti/Al, 30 kV de diferença de potencial, 23  $\mu$ A de intensidade de corrente e 60 s de tempo de medição; condição 2 – filtro de Cu/Ti/Al, 50 kV, 25 a e 60 s; e condição 3 – 15 kV, 22  $\mu$ A e 60 s. Em seguida, a quantificação foi efectuada mediante uma calibração interna (GeoExploration/Oxide3phase) devendo os valores obtidos serem considerados apenas indicativos devido à elevada variabilidade composicional deste tipo de amostras. Os mapeamentos elementares por micro-EDXRF em escórias seleccionadas (C22-1 e C22-3) foram efectuados num espectrómetro ArtTAX Pro equipado com uma ampola de raios X com ânodo de Mo, sistema de policapilares para focagem do feixe primário (~0,1 mm de diâmetro da área de análise) e detector Si-SSD com resolução de 160 eV a 5,9 keV. As análises foram realizadas com 40 kV, 600  $\mu$ A e 20 s, em áreas de diferente dimensão (0,5×0,5 mm<sup>2</sup> a 0,5×1,0 mm<sup>2</sup>, com uma distância entre análises de 100  $\mu$ m ou 200  $\mu$ m, respectivamente). Os nódulos de metal identificados no interior do cadinho cerâmico foram igualmente analisados por micro-EDXRF utilizando 40 kV, 600  $\mu$ A e 120 s. A quantificação das ligas de ouro foi efectuada mediante calibração com um padrão de referência (International Atomic Energy Agency 4), obtendo-se uma exactidão superior a 95 % (VALÉRIO *et al.*, 2019).

## 2.2 – Descrição dos resultados

### 2.2.1 – Cadinho cerâmico

Num possível silo situado na área do peristilo foi recuperado um fragmento cerâmico (C11-1; Fig. 1A), o qual corresponde ao fundo de um cadinho com a face interior escorificada e contendo numerosos nódulos metálicos (Fig. 1B).

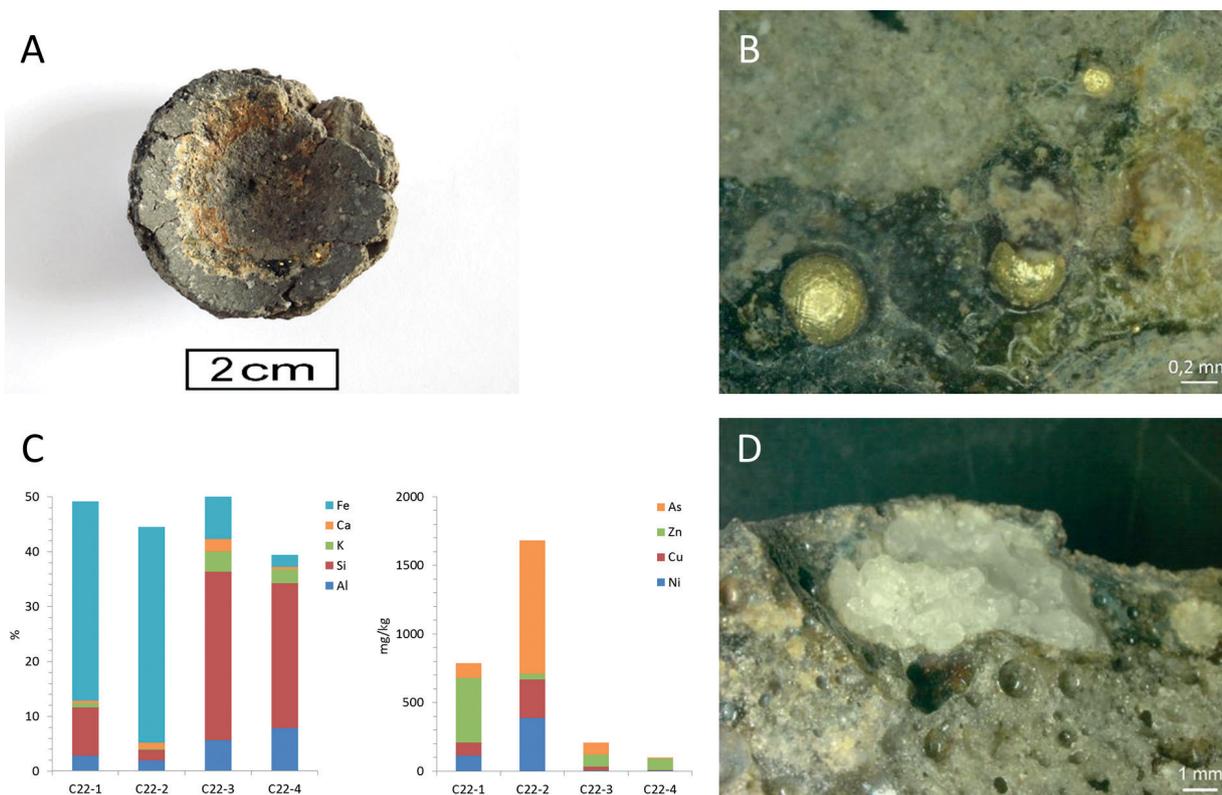
A análise por micro-EDXRF de alguns nódulos metálicos presentes no interior do cadinho cerâmico identificou ligas de ouro-prata com algum cobre (Tabela 1). A variabilidade composicional destas ligas de ouro (Au com 7,8 a 10,3 % Ag) sugere que o cadinho em causa teria sido utilizado num processo primário de produção de ouro, dado que a refundição de um artefacto de ouro resultaria em nódulos de composição equivalente.

**Tabela 2** – Resultados da análise por micro-EDXRF de nódulos metálicos presentes no interior do cadinho cerâmico C11-1.

Referência	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)
C11-1-A	91,3	7,8	0,89
C11-1-B	88,8	10,3	0,81
C11-1-C	88,8	9,9	1,27

### 2.2.2 – Escórias

Na parede interior do forno existente no contexto C22 foram recuperadas quatro amostras de escória (C22-1, C22-2, C22-3 e C22-4) cujas análises preliminares por p-EDXRF revelaram possuir uma composição química muito variável (Fig. 1C). Destaca-se o elevado teor em ferro das escórias C22-1 e C22-2, face ao elevado teor em silício das escórias C22-3 e C22-4. De referir igualmente a presença significativa de diversos metais. Neste tipo de amostras recolhidas das paredes da estrutura metalúrgica, os elementos voláteis, como o zinco e o arsénio, podem estar sobrestimados face à carga de minério, mas o mesmo não acontece para outros metais de menor volatilidade, tais como o cobre ou o níquel (CRADDOCK, 1995, p. 19).

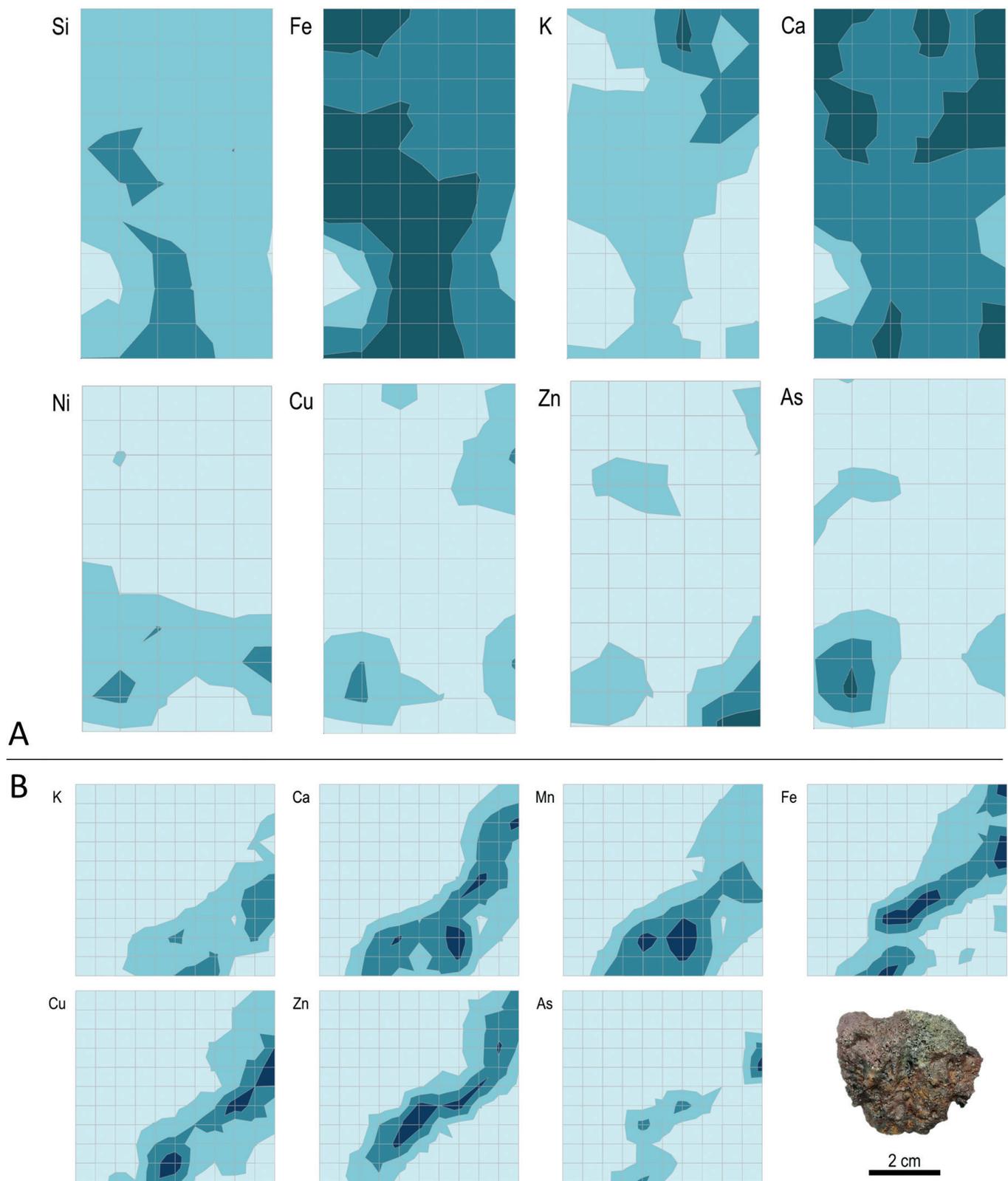


Numa das amostras (C22-3) as observações por microscopia óptica permitiram ainda identificar a presença de numerosas inclusões de quartzo (Fig. 1D), o qual seria adicionado como fundente à carga de minério, de modo a facilitar a operação de extracção de metal. Nesta amostra de escória é igualmente visível a elevada vitrificação do material.

As amostras de escória C22-1 e C22-3 foram igualmente objecto de mapeamentos por micro-EDXRF (Fig. 2). Os mapeamentos elementares evidenciaram a presença de determinadas áreas com uma maior concentração de metais (inclusões metálicas?), tais como o ferro, níquel, cobre, zinco e/ou arsénio, os quais se encontram por vezes associados (ver por exemplo a associação de Ni, Cu e As na amostra de escória C22-1 e a associação de Fe e Zn na amostra de escória C22-3). Estes resultados indicam o carácter polimetálico da carga de minério processada no referido forno.

### 3 - O PROCESSO DE LIQUAÇÃO

O processo de recuperação de ouro e prata de complexos polimetálicos conhecido por liquação é mencionado, em múltiplas variantes, no *De Re Metallica* de Georgius Agricola (1556, cf. HOOVER & HOOVER, 1921, p. 403-405 n.º 43 e 491 ss.), ainda que, na Antiguidade, aparentemente, tal processo não fosse entendido de forma completamente independente dos processos mais gerais da copelação (FORBES, 1964, p. 173), como se depende das referências a esse tipo de processos em Plínio (Nat. Hist. XXXIV, 20).



**Fig. 2** – Mapeamento por micro-EDXRF. A: amostra de escória C22-1 da parede do forno (área mapeada: 0,5×1,0 mm<sup>2</sup>);  
 B: amostra de escória C22-3 da parede do forno (área mapeada: 0,5×0,5 mm<sup>2</sup>).

O tratamento de minerais sulfídicos pela adição de fundente silicioso é, todavia, referido noutros estudos (DAVIES, 1935, p. 41-51; HEALY, 1978, p. 158) e associado a um processo atribuído por Agatarcides (séc. II a.C.) aos etíopes, segundo uma menção de Diodoro Sículo (*Bib. Hist.* III, 14; cf. LUCAS, 1962, p. 229). O processo (HODGES, 1964, p. 93-94) explica os vestígios conservados no forno acima referido, como a escória aderente restante da “sangria” do forno do material fundido (tornado vítreo quando arrefecido) que “purga” o metal, como é visível nos restos do cadinho.

Segundo Domergue (2008, p. 167), este processo de ustulação teria dois propósitos, sendo o objectivo principal converter os sulfuretos em óxidos para facilitar a recolha do ouro durante as etapas metalúrgicas subsequentes (ver, por exemplo, o processo sugerido para processar os minérios Au-Ag do tipo “Três-Minas”, DOMERGUE, 2008, fig. 106). O segundo objectivo seria fragilizar a ganga quartzosa de forma a facilitar a posterior trituração do minério. A reprodução desta operação de ustulação, conduzida durante 8 h a cerca de 600°C, permitiu verificar que certos pontos do forno atingiram temperaturas na ordem dos 1000°C, o que explicaria a vitrificação das escórias amostradas nas paredes do forno em estudo.

O processo antigo era feito em vaso, mas a pequena dimensão do forno (18x80x45cm = c. 63 dm<sup>3</sup>) faria com que os processos e comportamentos dos materiais não fossem muito diferentes. As análises dos pingos metálicos do cadinho mostram que se está perante uma espécie de *electrum* (cf. Plínio, *Nat. Hist.* XXXIII, 23) que poderia eventualmente ser sujeita – ou não – a uma ulterior operação de separação do ouro da prata, como é o caso do processo originalmente descrito.

#### 4 – O SUPRIMENTO DE MINÉRIO AURÍFERO A CONIMBRIGA

Conimbriga está situada sobre a zona paleogeográfica designada de “orla mezo-cenozóica”, onde não existem mineralizações auríferas (MARTINS, 2008, p. 35-36), mas não fica muito distante da zona da faixa blastomilonítica (LOURENÇO, 1992, p. 10), de reconhecido potencial aurífero. Aliás, a distância de Conimbriga às minas de Escádia Grande (CERVEIRA, 1947, p. 245-254; OLIVEIRA, 1991, p. 9-19), onde se conhecem trabalhos romanos (CERVEIRA, 1947, p. 247-248; MARTINS, 2008, n.º 42), é apenas de cerca de 30 km; o território da *civitas* estendia-se certamente até aí e não é implausível que as fases finais da refinação do metal precioso decorressem *caput civitatis*, por duas razões complementares entre si: a logística do transporte não seria excessivamente complexa e a segurança do produto final estaria imediatamente muito melhor assegurada (cf. EDMONDSON, 1989, p. 97).

As análises conhecidas dos minérios de Escádia Grande (OLIVEIRA, 1991, p. 17, Tab. 4), definem-nos como um complexo polimetálico compatível com os vestígios identificados nas escórias da Casa atribuída a Cantaber, mas deve fazer-se notar que se trata aqui de uma mera aproximação. A actividade mineira tardo-antiga na região pode ter-se dedicado a pequenos filões que são hoje desconhecidos.

#### 5 – CONCLUSÕES

As análises aqui apresentadas permitem interpretar os vestígios de actividades metalúrgicas na Casa atribuída a Cantaber como vestígios do processo de liquiração, como forma de recuperar, a partir de minérios polimetálicos, a fracção nobre (liga de ouro/prata, *electrum*) aí contida.

Os contextos e as suas datações (quer radiocarbónicas quer contextuais) permitem centrar a datação desse processo nos quartéis centrais do séc. VI, quando Conimbriga está integrada no reino suevo, que cunhou moeda de ouro desde o reinado de Requiario (448-456. CABRAL & METCALF, 1997, p. 235).

A actividade metalúrgica aqui caracterizada, refinação de complexos polimetálicos exporados directamente de uma mina (cuja localização pode ser aproximadamente apontada, na Serra da Lousã, mas que não pode ser identificada com exactidão), oferece uma significativa comprovação arqueológica às sugestões de que de facto alguma mineração de material nobre continuou no Ocidente da Península, para além do fim do Império Romano (EDMONDSON, 1989, p. 100), as necessidades de metal nobre demasiadas para que pudessem ser supridas apenas pela reutilização de objectos antigos em desuso. Deve, aliás, ser posta em contexto, com uma certa margem de imprecisão cronológica, com a actividade da casa da moeda de Eminio (MIRANDA, 2006, p. 69-73), que bateu moeda de ouro para os monarcas visigodos, de Recaredo (586-601) a Chintila (636-640).

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado pelo FEDER/Programa COMPETE 2020 e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) – Projecto UID/ELT/00196/2019.

Os autores agradecem igualmente a utilização do espectrómetro de micro-EDXRF ao Departamento de Conservação e Restauro (FCT-NOVA) e a colaboração de Adriaan de Man (Department of History and Archaeology, United Arab Emirates University, Dubai) e de Lídia Gil Catarino (Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra)

## REFERÊNCIAS

- CABRAL, J. M. P. & METCALF, D., (1997) – *A moeda sueva*. Porto: SPN (Anexos de Nummus 4).
- CERVEIRA, A. (1947) – Notas sobre as minas de ouro da Serra da Louzã. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*. 6(3), p. 245-254.
- CORREIA, V. (1935) – *Conimbriga. Notícia do oppidum e das escavações nele realizadas*. Coimbra: Ed. Autor.
- CORREIA, V. H. (2001) – Conimbriga, Casa atribuída a Cantaber. *Trabalhos Arqueológicos 1995 – 1998. Conimbriga*. 40, p. 83-140.
- CRADDOCK, P. T. (1995) – *Early Metal Mining and Production*. Cambridge: The University Press.
- DAVIES, O. (1935) – *Roman mines in Europe*. Oxford: Clarendon Press.
- DE MAN, A. (2006) – Actividade metalúrgica na Casa de Cantaber. In *Actas do 3º Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu*. Porto: SEDPGYM/IPPAR, p. 129-140.
- DE MAN, A. & SOARES, A. M. M. (2007) – A datação pelo radiocarbono de contextos pós-romanos de Conimbriga. *Revista Portuguesa de Arqueologia*. 10(2), p. 285-294.
- DGEMN – Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (1948) – *Oppidum romano de Conimbriga*. Lisboa: DGEMN (Boletim DGEMN 52-53).
- DOMERGUE, C. (2008) – *Les Mines Antiques. La Production des Métaux aux Époques Grecque et Romaine*. Paris: Picard.
- EDMONDSON, J. C. (1989) – Mining in the Later Roman Empire and beyond: Continuity or Disruption?. *The Journal of Roman Studies*. 79, p. 84-102.

- FORBES, R. J. (1964) – *Studies in ancient technology*, vol. VIII. Leiden: E. J. Brill.
- HEALY, J. F. (1978) – *Mining and metallurgy in the Greek and Roman world*. Londres: Thames & Hudson.
- HODGES, H. (1964) – *Artefacts*. Londres: John Baker.
- HOOVER, H. C. e HOOVER, L. H. (1921) – *Georgius Agricola “De Re Metallica”*. Londres: The mining magazine.
- LOURENÇO, C.; GOINHAS, J.; MARTINS, L.; VIEGAS, L. & GONZÁLEZ, V. (1992) – *Prospecção e exploração mineira em Portugal*. Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Minas.
- LUCAS, A., (1962) – *Ancient Egyptian materials and industries* (4<sup>a</sup> ed.). Londres: Edward Arnold Ltd.
- MARTINS, C. M. B. (2008) – *A exploração mineira romana e a metalurgia do ouro em Portugal*. Braga: ICS Un. Minho.
- MIRANDA, J. A. G. (2006) – Numária visigoda em território português. In BARBOSA, J. P.; MIRANDA, J. A. G. (eds.), *Marcas de poder. Moedas visigodas em território português* (Cat. exp.). Lisboa: Banco de Portugal, p. 65-74.
- OLIVEIRA, J. M. S. (1991) – The role of litho geochemistry in the delineation of Au and Sn-W mineralization in schist terrains of the Gois region (Central Portugal). *Estudos, Notas e Trabalhos D.G.G.M.* 33, p. 9-19.
- REIS, M. P.; DE MAN, A.; CORREIA, V. H. (2011) – Conimbriga. In REMOLÀ Vallverdú, J. A.; ACERO Pérez, J. (eds.) *La gestión de los residuos urbanos en Hispania*. Madrid: CSIC (An. AEspA 60), p. 181-202.
- RUIVO, J. S., (n. p.) – O tesouro de solidi de Conimbriga e a circulação do ouro na cidade após o final da dominação romana. In RUIVO, J. S.; CORREIA, V. H. (eds.) *Conimbriga diripitur. Aspectos das ocupações tardias de uma antiga cidade romana*. Coimbra: Imprensa da Universidade (no prelo).
- VALÉRIO, P.; SILVA, R. J. C.; SOARES, A. M. M.; ARAÚJO, M. F.; BAPTISTA, L.; CALVO, E. (2019) – Microanalytical study of ancient gold jewelry: Mediterranean impact on the Early Iron Age technology in southwestern Iberia. *Microscopy and Microanalysis*. 25(4), p. 1061-1073.

**EL ESTABLECIMIENTO RÚSTICO ALTO-IMPERIAL DE MIRAMUNDO  
(PUERTO REAL, CÁDIZ). UN CASO DE ESTUDIO MEDIANTE COMBINACIÓN  
DE TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN NO INVASIVAS**

***THE EARLY ROMAN EMPIRE RURAL SETTLEMENT OF MIRAMUNDO  
(PUERTO REAL, CÁDIZ). A CASE STUDY USING COMBINED NON-INVASIVE  
RESEARCH TECHNIQUES***

Lázaro Lagóstena Barrios<sup>1</sup>, José Antonio Ruiz Gil<sup>2</sup>, Domingo Martín Mochales<sup>3</sup>,  
Jenny Pérez Marrero<sup>3</sup>, Isabel Rondán Sevilla<sup>3</sup>, Pedro Trapero Fernández<sup>3</sup>,  
Francisco Javier Catalán González<sup>3</sup> & Manuel Ruiz Barroso<sup>3</sup>

**Abstract**

We present a case study through the combined application of non-invasive research techniques on the Roman rural site of Miramundo (Puerto Real, Cádiz). The results of the geophysical prospection with multichannel georadar are offered for the definition of the archaeological structure discovered, together with the results of a surface micro-prospection with centimeter GPS over the location area of this Roman imperial building. The main objective is to advance, through the combination of both techniques, in the formulation of functional hypotheses about the documented constructive spaces, as part of the methodological development of Non-Invasive Historical-Archaeological Research.

*Keywords:* GPR survey; microsite prospecting; Roman rural settlement; Non Invasive Research; Miramundo site.

## **1 – PRESENTACIÓN**

En abril de 2018, mediante el Servicio Periférico de Geodetección del Patrimonio Histórico-Arqueológico de la Universidad de Cádiz, desarrollamos trabajos de prospección superficial y geofísica en la finca Miramundo (Puerto Real, Cádiz) para la detección, delimitación y caracterización de vestigios arqueológicos, con motivo de la instalación en el solar rústico, de 138 hectáreas de extensión superficial, de una planta solar fotovoltaica promovida por la empresa OPDE S.L.<sup>4</sup> Los trabajos consistieron en una prospección super-

---

<sup>1</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, Cádiz, España. Área de Historia Antigua, Departamento de Historia, Geografía y Filosofía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Cádiz, Dr. Gómez Ulla s/n, 11003, Cádiz. lazaro.lagostena@uca.es

<sup>2</sup> IVAGRO, Área de Prehistoria, Universidad de Cádiz, España.

<sup>3</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, España.

<sup>4</sup> Otras Producciones de Energía Fotovoltaica S.L. Contrato OT2018/037 ejecutado con la UCA al amparo del artículo 83 de la Ley Orgánica de Universidades. Autorizada la actividad arqueológica por Resolución Rel.: DPPN A 11/ 18lirt2 del Delegado Territorial de Cultura, Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía de Cádiz.

ficial extensiva, apoyada en el uso de GNSS centimétrico que permitió delimitar con precisión las áreas de concentración de material arqueológico, sobre las cuales se desarrolló una exploración GPR con georradar multicanal. Los resultados de esta técnica geofísica permitieron plantear una experiencia de micro-prospección arqueológica de precisión cuyos resultados preliminares presentamos en esta contribución. Todos los procesos y post-procesos se apoyaron, de una parte, en el empleo de metodología GIS y, de otra parte, en los productos obtenidos mediante el empleo de UAV y fotogrametría georreferenciada (ortofotografía aérea, MDT, MDS, micro-topografía). Como resultado arqueológico destacamos la documentación íntegra de la planta de un asentamiento rural romano alto-imperial y de dos alfares productores de ánforas salsarias, uno muy cercano al edificio rústico, el otro ubicado a 720 metros al NW del mismo. Esta contribución se centró sobre el edificio rural identificado.

## 2 - APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN HISTÓRICO-ARQUEOLÓGICA NO INVASIVA

El desarrollo alcanzado por el equipamiento técnico con aplicación a la documentación e investigación de los vestigios del pasado, sean estos muebles o inmuebles, emergentes o subterráneos, ha renovado las perspectivas de algunas de las más tradicionales líneas de investigación histórico-arqueológicas, especialmente las relacionadas con aspectos urbanísticos, públicos y privados, y los estudios diacrónicos del territorio y el paisaje histórico. A esta nueva situación instrumental debe necesariamente acompañarse un adecuado desarrollo metodológico en el marco de la denominada Investigación no Invasiva, conjunto de técnicas de exploración avanzadas e innovadoras que, aplicadas de manera combinada, pueden proporcionar una profusa y precisa documentación histórico-arqueológica sin necesidad de alterar o destruir el registro que la contiene. Para el desarrollo de esta disciplina es necesario el establecimiento de procedimientos y protocolos de aplicación de las diferentes técnicas, y de convenciones acordadas para su correcto uso entre los especialistas de la investigación histórica que deben liderar esta reflexión metodológica. La identificación de los procedimientos idóneos derivará de la experimentación en la combinación instrumental que se realice, y es precisamente en esa fase de experimentación donde se hallan actualmente los centros de referencia en la Investigación histórico-arqueológica no Invasiva (VERDONK *et al.*, 2019). Estos son precisamente algunos de los objetivos prioritarios del Laboratorio de Historia del Instituto de Investigaciones Vitivinícolas y Agroalimentarias de la Universidad de Cádiz en el que nos integramos (IVAGRO-UCA; LAGÓSTENA *et al.*, e.p.; RUIZ GIL *et al.*, e.p.).

En el caso del estudio del asentamiento rural romano de Miramundo el objetivo específico ha sido experimentar con la aplicación combinada de diversas técnicas de exploración de precisión – aérea, superficial y geofísica- que permitan, en este caso avanzar en la proposición de hipótesis de interpretación funcional de los ambientes y espacios construidos de un edificio de cronología altoimperial documentado con el georradar, considerando para ello la localización y distribución precisa de las evidencias y testimonios arqueológicos superficiales, particularmente el registro cerámico y de material constructivo. Postulamos así que el avance de estas metodologías permite obtener una información cada vez más precisa, e invita a desarrollar su potencial en la proposición de hipótesis históricas sobre los vestigios documentados, más allá de la mera atestiguación de la existencia y composición de los vestigios arqueológicos.

### 3 – PROTOCOLO METODOLÓGICO Y RECURSOS TÉCNICOS

Para el desarrollo de la investigación se aplicó la siguiente metodología:

- Creación de un proyecto de trabajo en GIS, con el empleo del software libre QGIS 2.18, como entorno, repositorio y escritorio principal receptor de la información georreferenciada para su análisis, procedente de instrumentos y fuentes diversas.
- Documentación y georreferenciado en capas raster y vectorial de la información arqueológica disponible hasta la fecha para la parcela objeto de estudio y el entorno territorial, especialmente aquella relativa a la ocupación y los aprovechamientos rústicos y artesanales de época romana en este espacio (LAGÓSTENA, 1996).
- Realización de vuelos fotogramétricos con DJI Phantom 4 PRO plus y obtención de productos topográficos del área de estudio (fotogrametría aérea, MDS, MDT, microtopografía). Se empleó el software PIX4D y se gestionó la autorización de vuelo por la operadora del servicio de drones de la UCA.
- Macro-prospección de las fincas afectadas, para ello se plantearon sobre las seis parcelas que integraban el futuro parque fotovoltaico transectos longitudinales en sentido N-S y E-W con intervalos de 10 metros, recorridos por los integrantes del equipo y cubriendo la totalidad de la superficie afectada. Los artefactos arqueológicos detectados en superficie se georreferenciaron con GPS centimétrico Leica CS14, usándose también GPS de mano (Garmin Oregon 450; Garmin Etrex 20x) para auxiliar en el recorrido de los tracks.
- Exploración geofísica con georradar multicanal Stream X de IDS con antena de 200 MHz de las áreas delimitadas por la mayor concentración de material arqueológico superficial. Se empleó el software One Visión 2.0.0 para la captura de datos.
- Procesado de la exploración GPR con software Gred HD 01.06 de IDS. Obtención de tomografías centimétricas desde el plano tierra hasta – 2,5 metros, elaboración de vídeos tomográficos y exportación de geotiff para su empleo en GIS. Definición del edificio rústico romano altoimperial (Figura 1A).
- Realización de micro-prospección con GPS centimétrico. Se establecieron dos parcelas de interés. Se georreferenciaron sus vértices y se establecieron calles de dos metros de ancho con orientación N-S. Todos los elementos arqueológicos superficiales al interior de las parcelas fueron georreferenciados con precisión. Posteriormente fueron catalogados en laboratorio para su incorporación una vez clasificados por categorías arqueológicas al proyecto GIS.
- Procesos de mejora de la calidad de visión de los resultados de la exploración GPR a partir de dos tratamientos diferentes de la nube de puntos que se exporta desde el software GPR GRED HD: interpolado de la nube de puntos por cotas y tratamiento de rasterizado en ArcGIS con la herramienta IDW (Weighted Inverse Distance) (Figura 1B); obtención de una imagen “resumen” del paquete de información geofísica, seleccionando un rango de cotas de interés, procesado con un entorno de programación en Python de código abierto (LAGÓSTENA & MOLINA, e.p.; LAGÓSTENA *et al.*, e.p.).
- Análisis estadístico de los artefactos registrados (Percent Volume Contour). Mediante la herramienta *Densidad Kernel* en la aplicación ArcGIS y su equivalente en QGIS *Kernel Density Estimation*. Filtrado de la capa de puntos conforme la clasificación establecida. Se ha definido el radio deseado de los *kernels* y el tamaño de celda apropiado para que los mapas de calor comuniquen adecuadamente la densidad de los conjuntos analizados.

## 4 - EJECUCIÓN DE LAS EXPLORACIONES

La exploración georradar se planteó sobre el área de mayor concentración de materiales y cuyos indicadores microtopográficos mostraban la mayor probabilidad de ubicación del área de hábitat del asentamiento. Se realizaron 75 *swathes* con longitudes medias de 125 metros, todos con orientación Norte-Sur y punto de inicio en el extremo sur de cada pasada, que cubrieron una superficie de 12.500 metros cuadrados. Se configuró el equipo para una profundidad de exploración de 80 ns, con 512 muestreos por barrido (@512 Sample/Scan), velocidad de propagación promedio de 10 cm/ns y con sistema de posicionamiento GPS + PPS. Los ficheros de posicionamiento son exportados a la unidad de control en formato NMEA tomados cada 0,2 seg (5 Hz).

La microprospección se ejecutó sobre una superficie total de 3.250 metros cuadrados (figura 1c). Se registraron 503 artefactos, con la siguiente clasificación: 347 elementos cerámicos; 135 elementos constructivos; el resto, 21 elementos variados (fallos de cocción cerámica; escoria, vidrio, metal, lítico, malacofauna). Por crono-

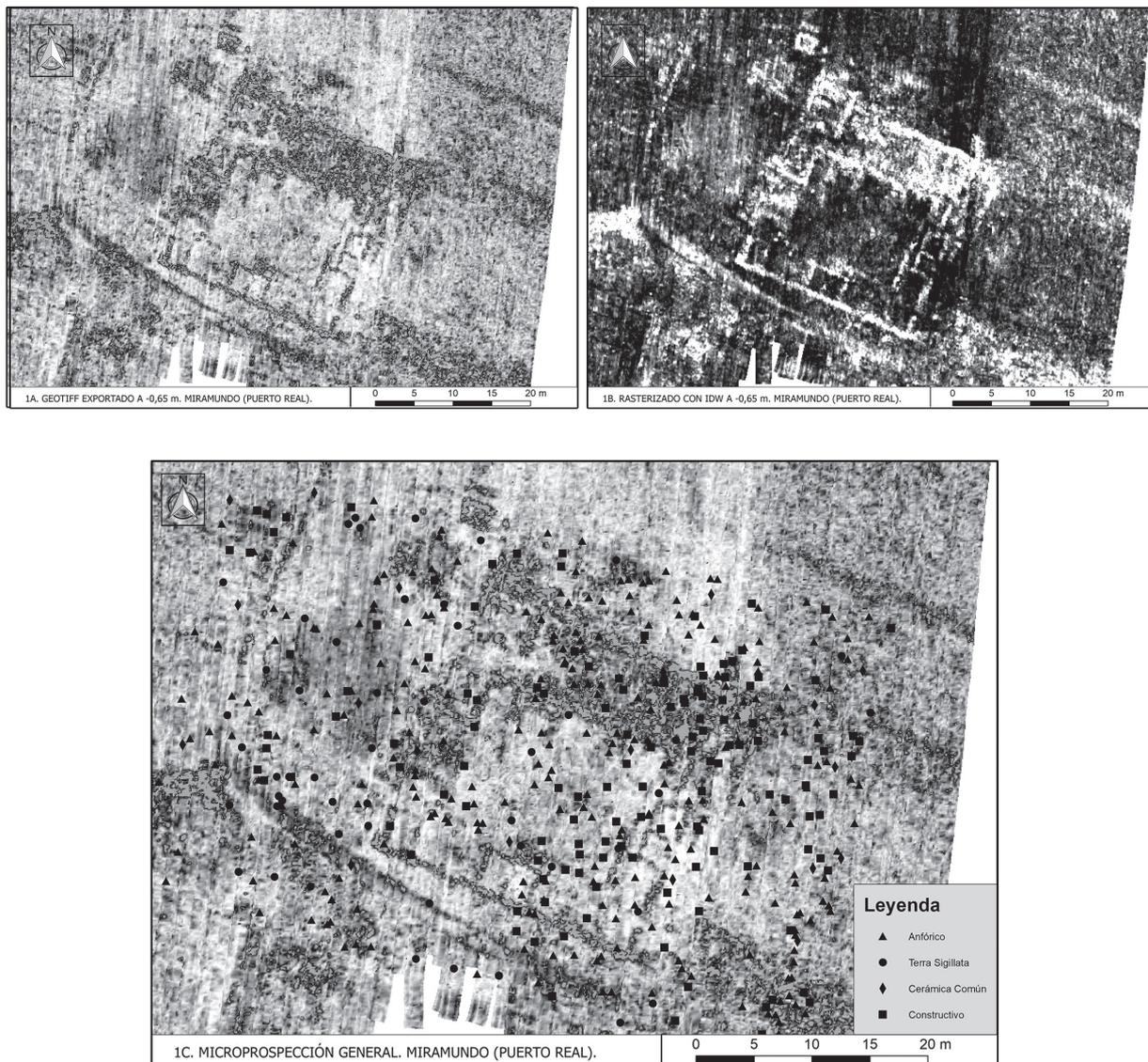


Fig. 1 - Caracterización geofísica del edificio rural y la microprospección.

logías 13 elementos se han considerado contemporáneos, 7 modernos y 483 del período romano. Entre los elementos cerámicos se ha discriminado el material anfórico (263), la cerámica común de mesa y cocina (27), paredes finas (1) y sigillatas (50); entre el constructivo las *tegulae* (67), ladrillo (24) y *opus signinum* (3). De entre el material anfórico, 37 fragmentos se han clasificado como pertenecientes a la serie Dr. 7/11, una Dr. 7, una Dr. 8, una Mañá C2, ocho Beltrán IIA, seis Beltrán IIB, 209 fragmentos indeterminados, la mayor parte distintos segmentos de asas de cinta. Esta abundancia de material anfórico se justifica por la cercanía del alfar documentando a pocos metros, con una producción de ánforas salsarias altoimperiales béticas.

## 5 - CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DEL ASENTAMIENTO RURAL DE MIRAMUNDO

La exploración geofísica con el georradar multicanal Stream X ha permitido documentar un edificio datado, a juzgar por el registro material hallado en superficie, entre fines del siglo I a.C. y último tercio del I d.C.<sup>5</sup> Se trata de una construcción de planta cuasi-cuadrada de 25 por 27 metros, que presenta una orientación NE-SW, con un patio central de 16 por 13 metros, en torno al que se articulan naves laterales que presentan diversas compartimentaciones interiores. Topográficamente se ubica en una ladera de pendiente muy ligera que decae hacia al NE. Precisamente ese lateral norte del edificio muestra en la exploración GPR mayores y más potentes vestigios constructivos, bien porque éstos conserven más potencia debido a la topografía mencionada, bien porque se halle mejor conservado al estar la estratigrafía relativamente menos expuesta a la acción del arado y más expuesta al acúmulo de depósitos. Este edificio central se encuentra rodeado a su vez por un recinto del cual se ha podido documentar mejor su lateral Norte y Oeste. Y este lateral Oeste junto con una alineación muraria perpendicular conforma un segundo recinto que se proyecta hacia el Oeste. Así el recinto primero que comprende desde el ángulo NW al edificio central tendría unas dimensiones no menores a 61 metros NW-SE por 21 metros NE-SW, y el segundo recinto ofrecería unas medidas de al menos 21 metros NE-SW por 48 metros NW-SE. En el espacio ubicado entre el edificio cuadrangular y el primer recinto se localizan elementos estructurales aislados, especialmente en el ángulo NW del complejo, así como otras estructuras irregulares que parecen corresponder con áreas de pavimentos y vertidos asociadas a la vida y actividad del edificio principal.

Respecto a la caracterización histórica y funcional preliminar del edificio localizado, cabe destacar su similitud con asentamientos como Mas Gusó (Gerona), especialmente con las plantas de su segunda y tercera fase, para el cual se ha propuesto su identificación con un edificio público, ligado a la implantación de la red viaria y del sistema de control fiscal, establecido en aquel caso entre el 140-120 a.C. y con diversas reestructuraciones posteriores (CASAS GENOVER *et al.*, 2016). Otro asentamiento de tipología similar en planta, particularmente la de su edificio central, es el de Can Tacó (Montmeló-Montornés, Barcelona; RODRIGO *et al.*, 2013). Y por citar un tercero, aunque también de cronologías anteriores a las atestiguadas en Miramundo, podemos mencionar el caso de Puig Castellar (Biosca, Lleida; PERA *et al.*, 2016).

Debemos reseñar en relación con el edificio de Miramundo su cercanía a los tramos conocidos de la *via Augusta* en su *iter Gades-Hasta Regia*, y su ubicación en el entorno donde se debía localizar la *statio Ad Portum*. Más allá de los casos tarraconenses o lusitanos, la hipótesis preliminar para el edificio localizado mediante la

---

<sup>5</sup> Los elementos cerámicos más antiguos hallados son un fragmento de borde de ánfora Mañá C2-T7 y algunos bordes de las primeras series de la Dr.7. Lo más tardío corresponde con un fragmento de Terra Sigillata Clara A. En ambos casos se trata de tipologías muy escasamente representadas por lo que debemos centrar la hipótesis cronológica de la ocupación desde el cambio de era hasta tiempos Flavios.

exploración geofísica en Puerto Real le sitúa en la órbita de los edificios tipo Wehrgehöfte, casas rurales fortificadas, con frecuencia de carácter público y asociadas más a las intervenciones del poder imperial sobre el territorio, como fue el caso de la estructuración augustea del entorno de la bahía gaditana, que a la actividad agropecuaria.

## 6 – RESULTADOS Y CONCLUSIONES

No es posible detallar un análisis completo de resultados en el espacio de esta contribución sino algunas cuestiones de método. La representación de los datos combinados de la microprospección con la geofísica se ejemplifica en la Figura 2, y se ha establecido conforme a diversos criterios: un análisis de la distribución de la totalidad de los artefactos registrados (Figura 2A); un análisis de la distribución de la totalidad de la sigillata documentada (Figura 2 B), del material constructivo (Figura 2C), del conjunto anfórico (Figura 2E), y del conjunto de cerámica común en general (Figura 2G); y en segundo lugar un análisis de proximidad de materiales en el marco de las principales estancias del edificio documentado, en este caso centrándonos en el material constructivo (Figura 2D), el material anfórico (Figura 2F) y el material cerámico común (2H).

El primer criterio aborda la distribución y concentración de los artefactos sin considerar estrictamente la estructura edilicia subyacente y, al respecto, se puede indicar: la relación del material constructivo con la superficie total del conjunto edificado; la mayor densidad de sigillatas y cerámicas comunes de mesa y cocina sobre espacios externos al conjunto edificado; y la homogénea distribución del material anfórico, explicable por la cercanía del alfar, pero quizá también por su empleo como material constructivo en el propio edificio.

Respecto al segundo criterio, relacionando series de artefactos con estancias o áreas concretas del edificio: el constructivo superficial se relaciona principalmente con las habitaciones del NE del edificio, y con el sector Este y Sur del mismo; el anfórico muestra una distribución bastante homogénea respecto al edificio y sus divisiones; y el cerámico común está muy poco representado en general aunque su mayor concentración se relaciona con el patio central.

Evidentemente se debe abordar un análisis mucho más detallado para establecer correlaciones válidas entre las series y los artefactos singulares y el edificio y los espacios habitados subyacentes.

El caso presentado de Miramundo supone una experiencia inédita de empleo combinado de técnicas como la microprospección superficial intra-site de precisión y la exploración GPR multicanal, que permite establecer una propuesta de interés en el avance metodológico de la investigación no invasiva. El objetivo principal ha sido avanzar hacia la representación y análisis estadístico de la dispersión artefactual superficial, relacionándolo con ambientes edilicios y lugares de habitación documentados exclusivamente mediante el georradar. La teoría de la propuesta propugna el uso del registro arqueológico superficial como potencial indicador de funcionalidades y caracterización edilicia en contexto de análisis no invasivo, con objeto de avanzar en la formulación de hipótesis históricas para la interpretación de una, cada vez mayor, documentación arqueológica proporcionada por los nuevos instrumentos a nuestro alcance.

Esta combinación de técnicas permite la futura incorporación de otros sistemas de prospección geofísica, como la magnetometría, y también de exploraciones mínimamente invasivas, como son los microsondeos geoarqueológicos, por citar dos ejemplos. En cualquier caso, la irrupción de la Investigación no Invasiva puede conducir a nuevas prácticas de positivismo histórico y por ello consideramos imprescindible avanzar en la búsqueda de estrategias metodológicas que conduzcan a la formulación de hipótesis históricas que superen la mera documentación de un vestigio arqueológico determinado.

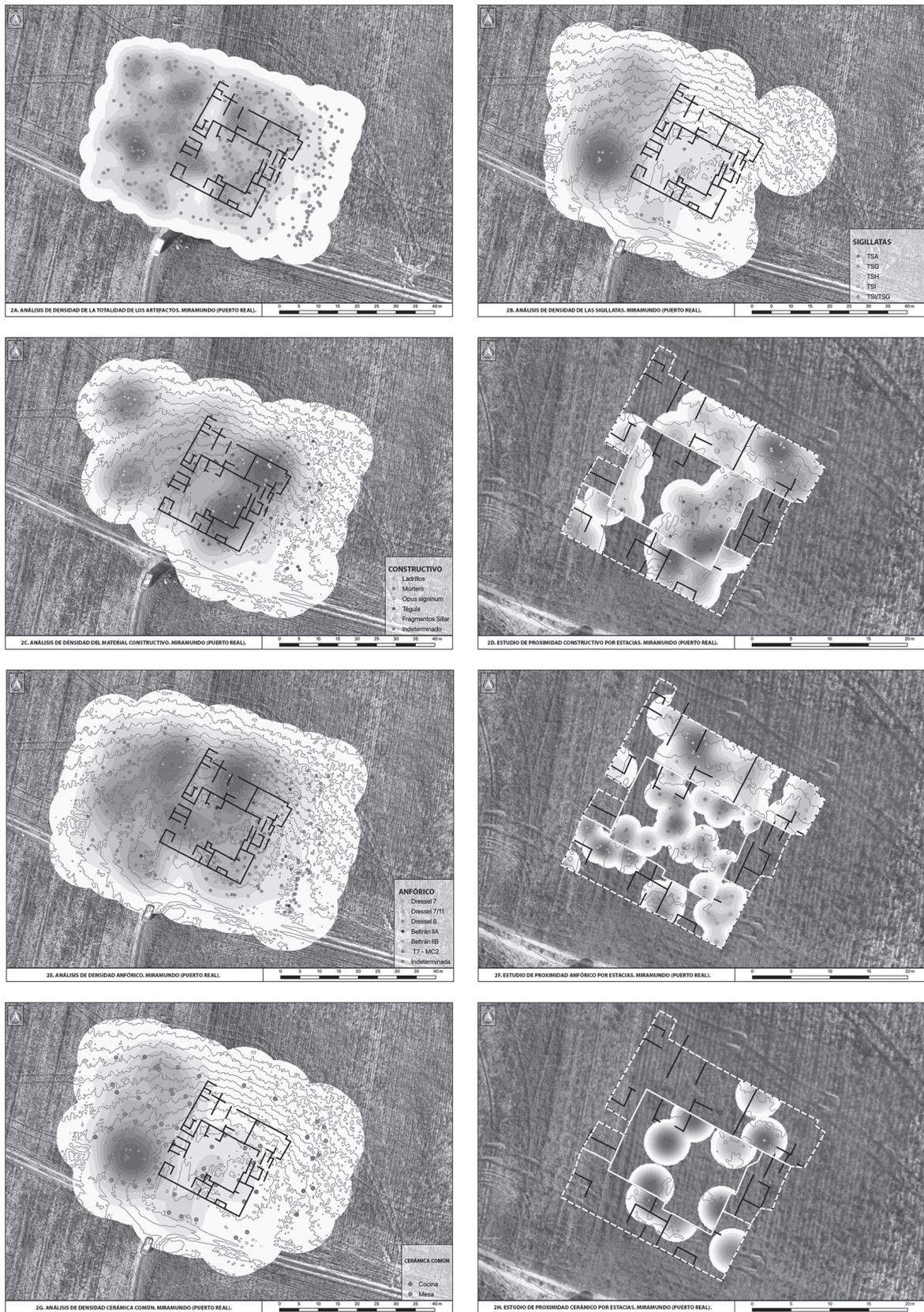


Fig. 2 – Análisis de densidad y proximidad de artefactos superficiales sobre el área de exploración y el edificio documentado.

## REFERENCIAS

- CASAS GENOVER, J.; NOLLA BRUFAU, J. M.; PALAHÍ GRIMAL, L.; VIVÓ CODINA, D. & SOLER FUSTÉ, V. (2016) – Mas Gusó: un establecimiento militar de época romana en el *suburbium* ampuritano. *AEspA* 89. p. 117-132.
- GARCÍA SÁNCHEZ, J. (2013) – Metodologías de prospección a escala regional y artefactual. La prospección del *Ager Segisamonensis*; comarca Odra-Pisuerga (Burgos). *Complutum*, 24(1), p. 9-28.
- LAGÓSTENA, L. (1996) – *Alfarería romana en la Bahía de Cádiz*, Cádiz.
- LAGÓSTENA, L. & MOLINA, J. (e.p.) – La *figlina* como ámbito de investigación cuantitativa de la economía romana. Aportación y potencial de la exploración georradar. *Ex Baetica Romam. Homenaje al Profesor José Remesal*, Barcelona.
- LAGÓSTENA, L., RUIZ GIL, J.A., PÉREZ MARRERO, J., TRAPERO, P., CATALÁN, J., MARTÍN-MOCHALES, D., PARRILLA, R., RONDÁN, I. & RUIZ BARROSO, M. (e.p.) – GPR survey and methods its archaeological visualization: the punic harbour of La Martela (El Puerto de Santa María, Spain) as case study. *DAACH*.
- PERA, J., CARRERAS, C., ROMANÍ, N., RODRIGO, E., PADRÓS, N. & DE SOLÀ, G. (2016) – El proceso de implantación territorial romana en el NE de la Provincia Citerior en el siglo II a.C. Análisis de tres modelos de ocupación: Ilturo, Can Tacó y Puig Castellar de Biosca. In PERA, J.; VIDAL, J. (eds.), *Fortificaciones y control del territorio en la Hispania republicana*, Zaragoza, p. 167-205.
- REVILLA CALVO, V. (2010) – Hábitat rural y territorio en el litoral oriental de Hispania Citerior: perspectivas de análisis. In NOGUERAS, J.M. (ed.), *Poblamiento rural romano en el Sureste de Hispania. 15 años después*, Murcia 2010, p. 25-70.
- RODRIGO, E., GARCÍA LLINARES, M.G., MERCADO, M. & GUITART, J. (2013) – El jaciment de can Tacó (Montmeló i Montornès del Vallès) i els inicis de la presència romana al territori laietà en època republicana. In PREVOSTI, M.; LÓPEZ, J.; GUITART, J. (eds.), *Ager Tarraconensis, 5. Pasatge, poblament, cultura material i història. Actes del Simposi Internacional, Documenta* 16, 5, Tarragona 2013, p. 217-230.
- RUIZ GIL, J.A., LAGÓSTENA, L., PÉREZ MARRERO, J., TRAPERO, P., CATALÁN, J., MARTÍN-MOCHALES, D., PARRILLA, R. & RONDÁN, I. (e.p.) – The Phoenician site of Castillo de Doña Blanca, geophysics and modelling contributions to its archaeological plan, *Archaeological Prospection*.
- VERDONK, L., DE SMEDT, P. & VERHEGGE, J. (2019) – Making sense of anomalies: Practices and challenges in the archaeological interpretation of geophysical data. *Innovation in Near-Surface Geophysics*, p. 151-194.

**EXPLORACIÓN GEOFÍSICA GPR EN DOS IGLESIAS RENACENTISTAS  
ANDALUZAS: SAN SEBASTIÁN DE PUERTO REAL (CÁDIZ)  
Y SAN SEBASTIÁN DE ESTEPA (SEVILLA)**

***GPR GEOPHYSICAL SURVEY IN TWO ANDALUSIAN RENAISSANCE  
CHURCHES: SAN SEBASTIÁN, FROM PUERTO REAL (CÁDIZ)  
AND SAN SEBASTIÁN FROM ESTEPA (SEVILLA)***

Jenny Pérez-Marrero<sup>1</sup>, Domingo Martín Mochales<sup>2</sup>, José-Antonio Ruiz Gil<sup>3</sup>,  
Lázaro Lagóstena Barrios<sup>4</sup>, Pedro Trapero Fernández<sup>2</sup>, Francisco Javier Catalán González<sup>2</sup>,  
Isabel Rondán Sevilla<sup>2</sup> & Manuel Ruiz Barroso<sup>2</sup>

**Abstract**

The aims of the present work is to inform in two GPR geophysical surveys carried out in the subsoil of two Andalusian Renaissance churches with a bifrequency georadar GPR equipment, which have allowed to determine the existence of events possibly associated to the Christian burial world and modern/contemporary modifications. The detection in both churches of elements such as crypts and individual burials, as well as their disposition and location within the priority spaces of the period, confirm the effectiveness of the application of non-invasive research techniques in the study of the building substrate in this type of construction. The work has also managed to identify possible structural reinforcements of pillars, extension works and/or modifications possibly undertaken in modern times, all of which are underground. The results of the geophysics of both cases allow us to conclude that there are multiple constructive similarities following their chronological parity and with the transformations that are carried out in the churches in modern times, a product of the customs and rites of the Christian world and the policies of rationalization of space.

At the same time, the research has allowed a significant improvement in the establishment of the methodology for obtaining GPR data inside religious buildings, with the use of relative georeference systems and other auxiliary means. Consequently, the optimal performances, the appropriate GPR data densities for the correct obtaining of results and the advantages of the use of a bifrequency GPR system 200 MHz - 600 MHz are defined.

*Keywords:* history, renaissance churches, GPR geophysics, remote sensors, crypts and burials.

## 1 – INTRODUCCIÓN

La iglesia prioral de San Sebastián de Puerto Real (provincia de Cádiz, España) es una edificación religiosa cuya fecha de construcción resulta desconocida, aunque todo parece indicar que debe ser anterior a la

---

<sup>1</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, España. jenny.perez@uca.es

<sup>2</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, España.

<sup>3</sup> Área de Prehistoria, Universidad de Cádiz, España.

<sup>4</sup> Área de Historia Antigua, Universidad de Cádiz, España.

de la fundación de la ciudad (IZCO & PARODI, 2001, p. 13-17). La prioral posee una orientación divergente con el urbanismo hipodámico de la ciudad, lo cual es un claro indicio de que se levanta sobre las trazas de un edificio precedente. En el caso de la Iglesia de San Sebastián de Estepa (provincia de Sevilla, España), la primera mención documental del templo es de 1460 y está asociada a la descripción del arrabal en el que se localiza (RODRÍGUEZ, 2014). Dicho arrabal se organizaba en torno a una ermita extramuros relacionada con la Orden de Santiago que tenía una única nave cuyo origen es desconocido y que posiblemente esté asociada con la fundación de la Iglesia de San Sebastián de Estepa (GÓMEZ, 2014, 208). Años más tarde, en 1498, se tiene constancia documental de la existencia del templo, según la descripción que se realiza y se registra en las Actas de los Visitadores de la Orden de Santiago de Estepa (GÓMEZ, 2014, p. 208-209). A este edificio se le añadirán dos naves laterales a principios del s. XV, pero será este un intento fallido que lo llevará a un estado de ruina (GÓMEZ, 2014, p. 209). En 1568 la iglesia sufre una intervención que le dará al edificio su planta actual, diseño del maestro de obras genovés Vicente Boyol dentro de la zona de expansión moderna de la ciudad (AGUILAR Y CANO, 1888, p. 39).

Existen noticias en ambos casos de diferentes reformas estructurales en diferentes periodos, así como de la adición de elementos procedentes de otros templos: en el templo de Estepa se incorporó la portada de la iglesia de Santa Victoria en 1760 (Cit. por PAVÓN & POZO, 2006, p. 12-15), y en el puerto realeño se documentan diversas ampliaciones que conforman el proceso de expansión de la planta original que termina en el siglo XIX con la reforma de la Capilla Sacramental (IZCO & PARODI, 2001, p. 19-23).

## 2 – PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN EDIFICIOS RELIGIOSOS

Los trabajos de prospección geofísica GPR en ámbitos de edificios históricos y yacimientos arqueológicos se viene acometiendo desde hace décadas (CONYERS & GOODMAN, 1997) como una técnica no invasiva auxiliar a los estudios que intentan determinar las características de los materiales constructivos en monumentos, su estado de conservación, las restauraciones realizadas sobre determinados elementos, la detección de eventos geotécnicos que comprometen la estabilidad como socavaciones, la presencia de enterramientos individuales y/o colectivos, así como la existencia de otro tipo de infraestructuras asociadas a procesos de transformación histórica propios a la construcción. La mayoría de los trabajos realizados en edificios religiosos en este sentido, han empleado equipos GPR de un solo canal con una única frecuencia central (BARBA *et al.*, 2018; BLANCH, 2016; GARCÍA, 2002) siendo escasos los ejemplos del uso de GPR multicanal. Dependiendo del tipo de investigación, bien paramental o del subsuelo, se emplea equipos con diferentes rangos de frecuencia, lo que permite obtener o un mayor alcance de la señal o una mejor resolución (GRANGEIA *et al.* 2011).

Por otra parte, se ha podido comprobar que la tendencia de este tipo de trabajos es actualmente el empleo de varias técnicas geofísicas combinadas aplicadas al mismo objeto de investigación para contrastar resultados, por citar algunos ejemplos destacan los trabajos realizados en la iglesia de San Francisco de Lorca (SÁNCHEZ *et al.*, 2011), en la catedral de Tarragona (COSENTINO *et al.*, 2009) o en la basílica de Nuestra Señora de la Salud en México (PONCE *et al.*, 2004). Lo que no se había documentado hasta la actualidad son estudios comparativos que confronten el funcionamiento y los resultados de carácter histórico de un mismo equipo GPR para edificaciones religiosas coetáneas.

### 3 – OBJETIVOS

El presente trabajo tiene tres objetivos principales: el primero, la detección en el subsuelo de ambas iglesias de construcciones asociadas a los procesos históricos de los edificios como reformas, restauraciones o ampliaciones; el segundo, avanzar en la conformación de un protocolo de la aplicación de la técnica GPR bifrecuencia en el subsuelo de edificios religiosos, en donde se planteen rendimientos, formas eficaces de adquisición de datos, las posibles interferencias en los datos obtenidos y futuras cuestiones por resolver; y el tercero, comparar los resultados obtenidos en la prospección GPR en ambas iglesias renacentistas haciendo un análisis de los mismos desde una perspectiva histórica.

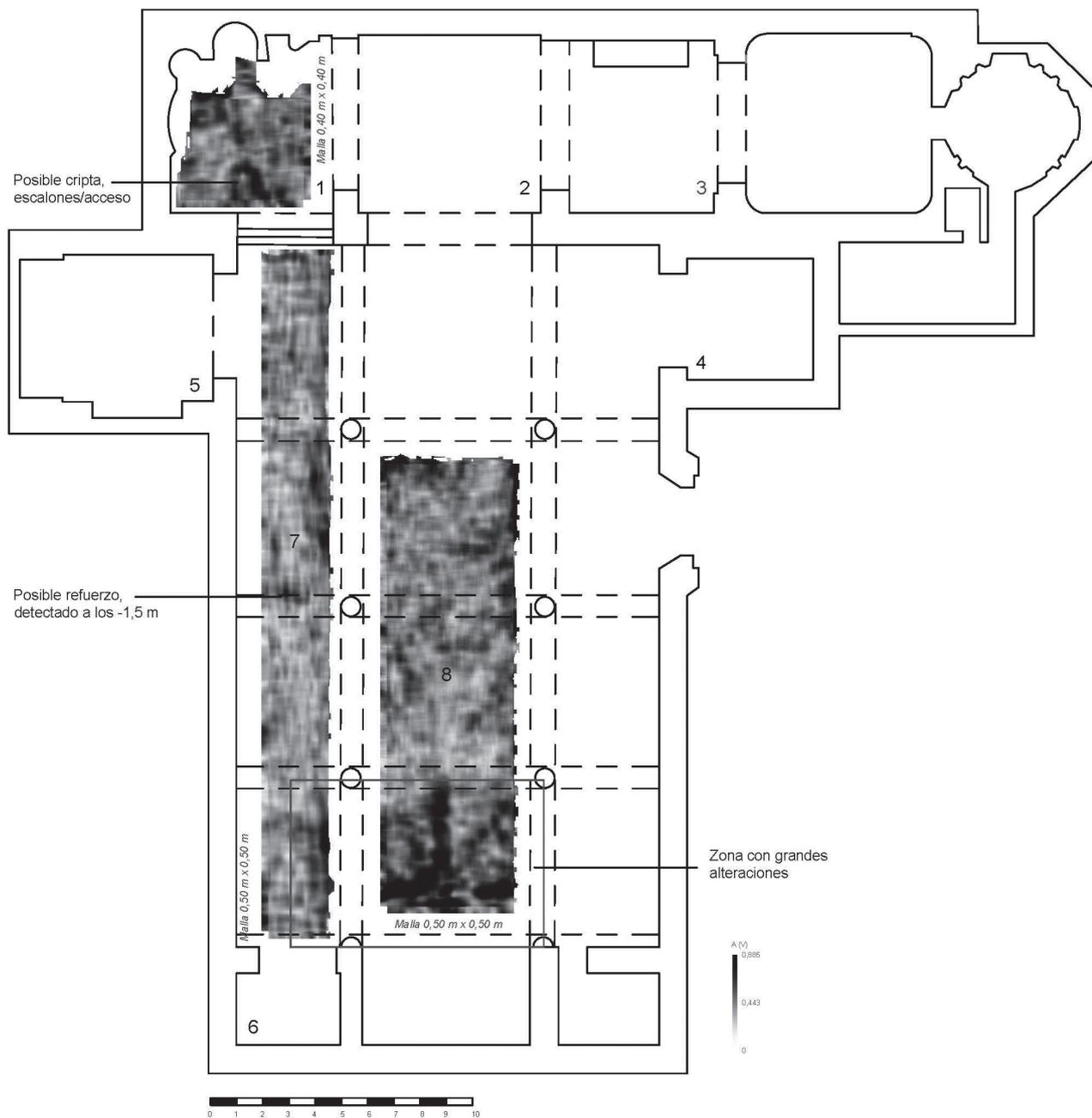
### 4 – METODOLOGÍA

El método de trabajo se puede estructurar en tres fases consecutivas: fase de adquisición de datos *in situ*, fase de postproceso en laboratorio y fase de conclusiones con comparativa de resultados. En la fase de adquisición de datos se realizaron los trabajos de configuración del equipo GPR utilizado, un Hi-Mod Ris 1A fabricado por la empresa italiana IDS geoRadar de antena blindada bifrecuencia de operación manual (200 MHz y 600 MHz). La ventana de datos requerida fue de 80 ns, con 512 muestreos por barrido para pasos de escaneo cada 4 cm. En esta fase, también se realizó la planificación previa de áreas a prospectar, que abarca: la definición de los sentidos de escaneo y la densidad de mallas de trabajo.

En el caso de la iglesia Prioral de San Sebastián se contabiliza un área explorada de unos 342,28 m<sup>2</sup> comprendidos entre la nave del evangelio, nave central y la capilla de Nuestra Señora de Lourdes. La exploración se realizó en ambos sentidos, definiéndose dos densidades de malla: la primera, de 0,40 m por 0,40 m, que se aplicó en la nave central y la capilla de Nuestra Señora de Lourdes y la segunda, de 0,50 m por 0,50 m, que fue la estipulada para la nave del evangelio.

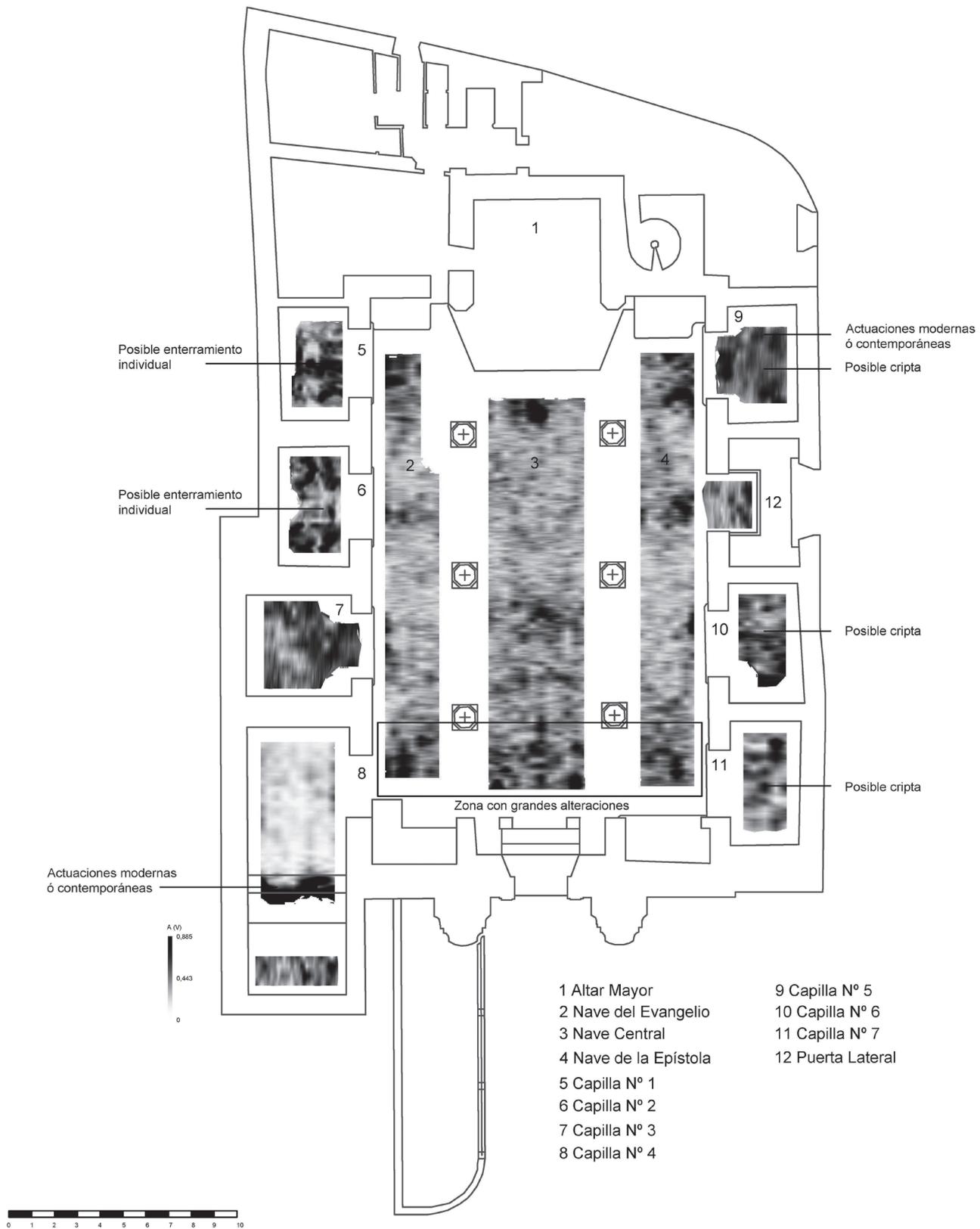
En el caso de la iglesia de San Sebastián de Estepa el área total explorada fue de 396,56 m<sup>2</sup> aproximadamente que incluye las plantas parciales de siete capillas, la nave del evangelio, la nave central, la nave de la epístola y una de las puertas de acceso al templo. La adquisición de datos GPR se realizó de forma unidireccional en todos los espacios, variando únicamente la distancia entre perfiles que, para la capilla 1 y 2 fue de 0,20 m mientras que en el resto de zonas fue de 0,40 m. Como medios auxiliares para la correcta alineación de los perfiles y mallas, se emplearon marcas deblebles en el suelo libre de mobiliario, con la correspondiente medición de distancias desde los puntos de inicio de exploración a referencias conocidas para su posterior georreferenciación.

En la fase de postproceso se realizaron los tratamientos de datos en laboratorio: la aplicación de filtros para la visualización de resultados, la obtención de radargramas, *timeslices* y tomografías. En éste caso se ha trabajado de forma exclusiva con el programa de postproceso del mismo fabricante, el software GRED HD. Los datos obtenidos en la fase de laboratorio han sido georreferenciados en las plantas de ambas iglesias a partir de las medidas de distancias a referencias conocidas, tanto en los planos de planta como en los de perfil, vectorizados para el presente trabajo en Autocad de Autodesk. De esta forma, se visualizan las alteraciones localizadas en planos de energía a escala con su continuidad en todo el ámbito explorado. Los filtros empleados y su orden de aplicación en ambos casos han sido: *bandpass* vertical (200-1500 MHz), *soil simple*, *background remove*, ganancia y migración.



- 1 Capilla de Nuestra Señora de Lourdes
- 2 Altar Mayor
- 3 Capilla del Sagrario
- 4 Capilla de los Dolores
- 5 Capilla de Nazareno
- 6 Capilla Bautismal
- 7 Nave del Evangelio
- 8 Nave Central

**Fig. 1** – Planta de la iglesia Prioral de San Sebastián (Puerto Real, España) con los resultados de la exploración geofísica GPR a -2,50 m de profundidad.



**Fig. 2** - Planta de la iglesia de San Sebastián (Estepa, España) con los resultados de la exploración geofísica GPR a -2,50 m de profundidad.

En la última fase, se hace un análisis de los elementos estructurales detectados en el subsuelo, las ventajas e inconvenientes de la aplicación de esta técnica, la definición espacial de las infraestructuras, su contextualización en la historia del monumento y los paralelos entre los dos edificios. Las comparaciones entre ambas edificaciones se han realizado en función de la detección de eventos en el subsuelo dispuestos en los planos energéticos a diferentes profundidades, del estudio particular de las señales detectadas en los perfiles individuales o radargramas y desde el conocimiento histórico de determinados acontecimientos que marcaron puntos de inflexión y que afectaron de alguna manera las decisiones adoptadas sobre la materialidad de las iglesias.

## 5 – CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido la detección y geolocalización de diferentes infraestructuras existentes en el subsuelo de ambos edificios religiosos a partir del empleo de una técnica de prospección geofísica no invasiva GPR. La profundidad alcanzada con el equipo ha sido de unos 4 m aproximadamente. En ambas iglesias se han detectado las diferentes tipologías de enterramientos típicas en los espacios religiosos cristianos. Especial interés han tenido las capillas, en donde se comprueba casi de forma sistemática la ejecución de criptas de enterramiento colectivo con la formulación arquitectónica empleada para estos espacios: abovedados, con acceso mediante escaleras de fábrica (tres a cuatro escalones) que descienden y avanzan en sentido longitudinal al eje de la central de la bóveda, bancos secaderos y nichos. En el presente trabajo ha sido viable la detección de una cripta relacionada con la cabecera de la nave del Evangelio y situada en la actual capilla de la Virgen de Lourdes de la prioral Puerto Real y otras cuatro en las capillas de la iglesia de San Sebastián de Estepa, pudiendo incluso detectarse su acceso, número de escalones, forma y dimensiones de la bóveda de cubrición. De igual forma se han identificado dos enterramientos individuales en capillas de la iglesia de San Sebastián de Estepa, específicamente las denominadas 1 y 2 en el presente trabajo. En estos casos, fue posible la determinación de las dimensiones de la fosa donde reposa el féretro y su profundidad con respecto al suelo de la capilla. Adicionalmente, la exploración ha permitido detectar posibles obras de restauración, como el refuerzo existente en la nave del evangelio de la iglesia de prioral de Puerto Real que al parecer puede asociarse a la estabilización de la cimentación de un pilar a través de su conexión con el muro de carga perimetral del sureste, cierre original de la iglesia antes de la construcción de las capillas laterales. También se han detectado obras de intervención contemporánea, con la presencia de escalones de hormigón armado, siendo destacable el existente en la capilla 4 de San Sebastián de Estepa. Existen también eventos que señalan una importante modificación del espacio subterráneo en los pies de las naves centrales, situación que se evidencia en ambos templos y que posiblemente sean obras de época moderna y que pueden estar asociadas bien al mundo funerario o a otro tipo de infraestructura tipo coros.

En resumen, se comprueba en ambos edificios que el uso funerario es el protagonista del espacio subterráneo y sus aledaños, una corriente de práctica habitual desde el bajo medioevo hasta bien entrado el siglo XVIII, cuando se asuma la introducción del modelo napoleónico de cementerio que ha llegado hasta nuestros días. Es necesario entender que, en la mentalidad de la época, la posibilidad de obtener un espacio sepulcral en suelo consagrado llevó incluso a la especulación durante este periodo con el consecuente cambio en estos edificios, en el afán de optimizar el aprovechamiento del subsuelo.

Otro hecho histórico a tener en cuenta sobre las criptas es que paulatinamente fueron despojadas de restos y destinadas a diferentes menesteres, todo ello tras la implantación progresiva de la Real Cédula<sup>5</sup> de Carlos III por la que se prohibían las inhumaciones en las iglesias (excepto prelados y patronos religiosos). Es por ello que estos espacios actualmente se pueden encontrar reaprovechados como contenedores de escombros de las diferentes obras de reforma (interiores y exteriores) que se producirían en los templos hasta bien avanzado el siglo XX.

En cuanto a la aplicación de técnicas no invasivas se recomienda que sean abordadas por un equipo multidisciplinar, con una metodología de obtención de datos que se adapte a los espacios, a la densidad de datos requerida y a la profundidad de los elementos a localizar en el subsuelo. Se debe contar de un estudio previo histórico y geológico del edificio que permita entender las alteraciones detectadas bajo la superficie explorada.

Se evidencia una mejora significativa de los resultados de la prospección GPR con mallas de trabajo densas y bidireccionales. En los casos en los que el registro sólo pueda realizarse en una dirección se recomienda acortar el espacio entre perfiles, en torno a 20 cm, siendo rigurosos en mantener el alineamiento en la captura de datos a través del empleo de medios topográficos auxiliares de precisión centimétrica. En los casos en los que las estructuras a detectar se encuentren a poca profundidad se debe explorar la reducción de la ventana de datos a menos de 80 ns y la visualización de datos obtenidos a 600 MHz. Se debe avanzar en la combinación de esta técnica con otras de carácter geofísicas no invasivo para contrastar resultados.

## REFERENCIAS

- AGUILAR Y CANO, A. (1888) – *Memorial ostipense : extracto de varios curiosos libros que se ocupan de la antigua Ostippo u Stippo y actual Estepa / arreglado para darlo á la estampa por Antonio Aguilar y Cano*. Tomo II. Estepa: Imprenta de Antonio Hermoso Cordero, p. 372.
- JIMÉNEZ MATA, J. J. (2007) – *Proyecto Básico y de Ejecución de Rehabilitación de las Fachadas. Iglesia San Sebastián - Puerto Real*. Cádiz. Archivo Municipal de Puerto Real. L. 8401-4 Exp. 0635.
- BLANCH PUERTES, L. (2016) – *Una nueva perspectiva del cartografiado del subsuelo para Restauración y Conservación del Patrimonio Histórico: Modelización y Catalogación de Registros de Georradar en Edificios Singulares Religiosos*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- BARBA, L.; BLANCAS, J.; PECCI, A.; MIRIELLO, D.; CURA, M.; CRISCI, G.; CAPPA, M.; AGELIS DE, D. & BORA, Y. H. (2018) – Georadar investigations in the central nave of Hagia Sofia, Istanbul (Turkey). En: *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10 (2), p. 259-268.
- CONYERS, L.; GOODMAN, D. (1997) – *Ground-penetrating radar: an introduction for archaeologists*. Colorado: Altamira Press, p. 232.
- COSENTINO, P. L.; CASAS, A.; CAPIZZI, P.; DIAZ, Y.; FIANDACA, G.; GARCÍA, E.; HIMI, M.; MARTORANA, R. & SALA, R. (2009) – Integrated Geophysical Surveys in the Tarragona Cathedral. En *Conference Proceedings, Near Surface 2009 – 15th EAGE European Meeting and Engineering Geophysics*. Dublin Ireland, 7 – 9 September 2009.
- GARCÍA CASTILLO, L. M.<sup>a</sup> (2002) – La antigua Catedral románica de Burgos. En: *Revistas de Obras Públicas* 3.424, p. 51-57.

---

<sup>5</sup> Real Cédula de 3 de abril de 1787.

- GÓMEZ DE TERREROS, M.<sup>a</sup> (2014) – El maestro Lorenzo Suárez de Figueroa y la arquitectura de la Orden de Santiago en Andalucía: Estepa y su castillo como referentes. *Cuadernos de Estepa* [En línea]. Estepa 3, p. 188-225. [Consult. 11 febr. 2020]. Disponible en: <http://www.estepa.es/export/sites/estepa/.galleries/DOCUMENTOS-general/DOCUMENTOS-cuadernos/cuadernosdeestepa03.pdf>
- GRANGEIA, C.; MATIAS, M.; FIGUEIREDO, F.; HERMOZILHA, H.; CARVALHO, P. & SILVA, R. (2011) – A multi-method high-resolution geophysical survey in the Machado de Castro museum, central Portugal. En: *Journal of Geophysics and Engineering* 8 (2011), p. 351-365.
- IZCO REINA, M. & PARODI ÁLVAREZ, M. (2001)– *La iglesia Parroquial de San Sebastián de Puerto Real (Medio Milenio de Historia)*. Sevilla: Padilla Libros Editores & Libreros, p. 157.
- RODRÍGUEZ BLANCO, D. (2014) – La Encomienda Santiaguista de Estepa en la política del reino de Sevilla. *Cuadernos de Estepa* [En línea]. Estepa 3, p. 22-57. [Consult. 11 febr. 2020]. Disponible en: <http://www.estepa.es/export/sites/estepa/.galleries/DOCUMENTOS-general/DOCUMENTOS-cuadernos/cuadernosdeestepa03.pdf>
- PAVÓN TORREJÓN, G. & POZO BARAJAS, A. DEL (2006) – Un Diálogo en el Tiempo. En *Iglesia de San Sebastián. El renacer de un templo*. Estepa: Ayuntamiento de Estepa, p. 28-31.
- PONCE, R.; ARGOTE, D.; CHÁVEZ, R. & CÁMARA, M. E. (2004) – Empleo de los métodos geofísicos en la prospección arqueológica urbana: la basílica de nuestra señora de la salud, Patzcuaro, México. En: *Trabajos de Prehistoria*, 61 (2), p. 11-23.
- SÁNCHEZ URIOS, J.; SÁNCHEZ SÁNCHEZ, A. & SÁNCHEZ MARÍN, R. (2011) – Georradar y tomografía eléctrica capacitiva para la determinación de anomalías geofísicas en el subsuelo de la iglesia de San Francisco tras el terremoto de Lorca. En: *Tierra y Tecnología* 40 (Segundo semestre 2011), p. 15-20.

## **ANÁLISIS DE IMAGEN PARA LA DETECCIÓN DE PIGMENTOS Y GRABADOS. CUEVA DE LAS VENTANAS (PIÑAR, GRANADA)**

### ***DIGITAL IMAGE PROCESSING FOR PIGMENTS AND ENGRAVINGS DETECTION. LAS VENTANAS CAVE (PIÑAR, GRANADA)***

Rubén Parrilla-Giráldez<sup>1</sup>, María D. Simón Vallejo<sup>2</sup>, Lydia Calle Román<sup>2</sup>, Miguel Cortés Sánchez<sup>2</sup> & José Antonio Riquelme Cantal<sup>3</sup>

#### **Abstract**

The south of the Iberian Peninsula preserves an important group of sites with paleolithic art. Recently, the case of Las Ventanas Cave (Piñar, Granada) has been published. An interdisciplinary research has allowed to link the engravings with the Cantabrian cornice, corroborating a pre-solutrean chronology. These engravings, in which the so-called “trilineal deer” appear, have also been dated on 37 897-30 913 cal BP.

Within this study the work of Image Analysis has been a keystone. The documentation of the approximately 765 engravings was done using Structure from Motion software, which allowed the three-dimensional documentation of the objects of interest. In addition, Image Analysis focused on Principal Components of bands RGB color space detected the presence of pigments linked to the engravings.

The Image Analysis processes are confirmed of great importance in the study of heritage elements. They allow us to access new data that goes beyond what we can perceive with the naked eye, helping to detect areas of special interest on which to deep with other types of analytics that can yield physical-chemical data.

*Keywords:* Paleolithic engravings, Structure from Motion, Image Analysis, Pigments segmentation, Multivariate Analysis.

## **1 – INTRODUCCIÓN**

La Cueva de las Ventanas se sitúa en el sur de la Península Ibérica (lat. 37° 26' 30"N, long. 3° 25' 42"W), cerca del municipio de Piñar, en la provincia de Granada (España). Se ubica a una altitud aproximada de 1015 m sobre el nivel del mar en las estribaciones de Sierra Harana. La cueva tiene un desarrollo de unos 1200 m y un desnivel total de 37,5 m. La cavidad toma su nombre por las tres entradas alineadas de las que dispone.

Las primeras referencias a inspecciones arqueológicas en Ventanas son atribuidas a H. Obermaier, quien visitó la cueva e identificó restos neolíticos. En 1954, J. Sphani realizó sondeos en busca de restos paleolíticos, no encontrándolos y comenzando sus excavaciones en la cercana Carigüela. En 1996 se decide abrir la cavidad al turismo, apareciendo en los trabajos de acondicionamiento distintos artefactos en una secuencia que abarca

---

<sup>1</sup> Servicio de Microanálisis. CITIUS. Universidad de Sevilla

Avda Reina Mercedes s/n. CITIUS Celestino Mutis, Servicio de Microanálisis. 41012 Sevilla. España. rparrilla@us.es

<sup>2</sup> Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla. España.

<sup>3</sup> Departamento de Filosofía y Letras. Universidad de Córdoba. España.

Paleolítico Superior, Prehistoria Reciente, Edad Media y Edad Contemporánea. Recientemente, en una inspección de la cueva se encontraron los grabados paleolíticos atribuidos a un periodo presolutrense (CORTÉS *et al.*, 2018).

En el sur de la Península Ibérica la secuencia cronocultural del Pleistoceno Superior se definía como una larga pervivencia del Paleolítico Medio con una llegada tardía de los tecnocomplejos del Paleolítico Superior Inicial (CORTÉS, 2010). Recientemente, la aparición de vestigios de esta cronología en distintos lugares (BICHO *et al.*, 2010; CORTÉS, 2007; CORTÉS *et al.*, 2010, 2013, 2019; AURA *et al.*, 2010) nos han llevado a reconsiderar la existencia de un horizonte atribuible al Paleolítico Superior Inicial en el extremo sur de Iberia (CANTALEJO *et al.*, 2006; CORTÉS *et al.*, 2015, 2016; FORTEA, 2015; VILLAVARDE, 1994, 2009).

Dadas las implicaciones de este proyecto, se decidió llevar a cabo una investigación interdisciplinar que abarcara cronología absoluta, caracterización de pigmentos, estudios de tipología lítica y caracterización mineralógica de pátinas así como la documentación y análisis mediante técnicas de Análisis Digital de Imagen (CORTÉS *et al.*, 2018).

Las técnicas de imagen digital son cada vez más frecuentes en los estudios sobre arte prehistórico, principalmente en el caso de pigmentos (ver p.e: GÁRATE *et al.*, 2019; QUESADA & HARMAN, 2019; SALAZAR *et al.*, 2019), aunque también se exploran sus posibilidades en el análisis de grabados (RIVERO *et al.*, 2019; RUIZ *et al.*, 2019). En el caso de Las Ventanas se decidió integrar una metodología digital de análisis 2D y 3D ya que se identificaron restos de pigmentos junto con los más de 765 grabados que se catalogaron en este estudio.

## 2 - METODOLOGÍA

La adquisición de imágenes se realizó con cámara fotográfica Nikon D750 con objetivos Nikon AF-S Nikkor 50 mm f/1.8G y Nikon AF-S Micro Nikkor 105 mm f/2.8G IF-ED VR. Dada la situación de los grabados al exterior de la cueva, no fue necesario el uso de iluminación específica.

Las fotografías se obtuvieron en formato RAW para su posterior revelado. La planificación se centró en la toma de imágenes a modo de cuadrícula buscando un solapamiento mínimo del 30% con el objetivo de 50 mm. Los zoomorfos detectados fueron documentados posteriormente con el objetivo de 105 mm.

El primer paso consistió en el revelado de los archivos RAW para realizar correcciones de blanco así como distintas correcciones de lente con el software DarkTable (<https://www.darktable.org/>). Tras obtener las imágenes definitivas se procedió a crear los modelos tridimensionales y fotografías panorámicas mediante fotogrametría digital (*Structure from Motion*).

La fotogrametría digital es una herramienta de Visión Artificial ampliamente usada en el mundo del patrimonio y, especialmente, en el arte rupestre (ver p.e: CASTAGNETI *et al.*, 2018; DAVIS *et al.*, 2017; GÁRATE *et al.*, 2019; QUESADA & HARMAN, 2019; SALAZAR *et al.*, 2019). Su funcionamiento se centra en la detección de puntos comunes entre imágenes. Dada la naturaleza de matriz matemática de las imágenes digitales, distintos algoritmos como SIFT (*Scale Invariant Feature Transformation*) (LOWE, 2004) o SURF (*Speeded up Robust Features*) (BAY *et al.*, 2008) buscan clústeres de píxeles similares. Una vez detectados y teniendo en cuenta la distancia focal de la cámara se procede a la triangulación de estos puntos mediante un proceso de *Bundle Adjustment* (TRIGGS *et al.*, 1999). Esto permite la generación de nubes de puntos que definen un modelo de coordenadas tridimensionales sobre el objeto de estudio. El error de la representación varía según la calidad de las imágenes, la cantidad de puntos comunes y el solapamiento entre fotografías. Procesados

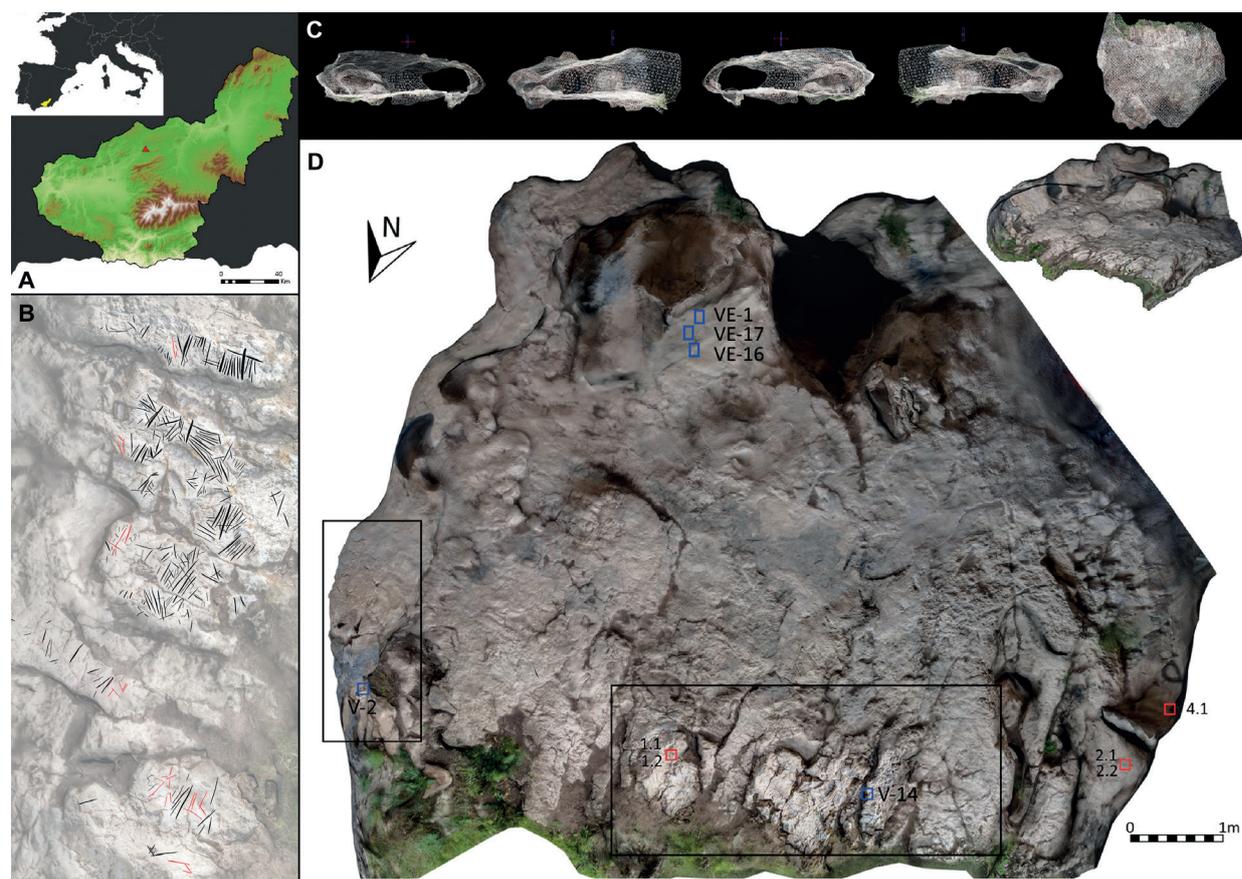
posteriores, como la generación de superficies por algoritmos como Poisson (KAZHDAN *et al.*, 2006) permiten el acercamiento a una reconstrucción volumétrica además de posibilitar el texturizado del objeto a través de mapas UV. La utilidad de los distintos software de *Structure from Motion*, así como su facilidad de uso han permitido su generalización en distintos tipos de estudios. En el caso de Las Ventanas se utilizó VisualSFM (<http://ccwu.me/vsfm/>).

También se usaron en modelo tridimensional otros programas como CloudCompare (<http://www.cloudcompare.org/>) para el procesado de la nube de puntos y la generación de modelo de malla, Hugin (<http://hugin.sourceforge.net/>) para la creación de fotomosaicos o Blender (<https://www.blender.org/>) para el texturizado.

Este preprocesado permite generar imágenes de gran calidad y resolución sobre las que realizar las tareas de análisis y segmentación.

El flujo de trabajo de análisis de imagen fue programado en Python (<https://www.python.org/>). Este se centró en el análisis de Componentes Principales sobre las bandas RGB de la imagen y en diversas operaciones aritméticas para facilitar la segmentación de las áreas pigmentadas.

El método estadístico multivariante de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés de *Principal Components Analysis*) (PEARSON 1901) describe un conjunto de datos en términos de nuevas variables (componentes) que se ordenan según la cantidad de varianza original que describen. En otras palabras, es un método que organiza la información según su importancia. El PCA es de los métodos más utilizados en



**Fig. 1** – A) Situación de la Cueva de Las Ventanas. B) Zona principal de grabados sobre modelado 3D. C) Estructura de la zona principal de grabados. D) Principales áreas de interés.

quimiometría y en ciencia de datos en general (ver p.e: BOLLEN *et al.*, 2009; NAVAS *et al.*, 2008; GRANATO *et al.*, 2018) ya que permite una reducción dimensional eliminando variables que aportan escasa información. Al aplicarse sobre las bandas RGB de una imagen se consiguen otras nuevas tres bandas (PC1, PC2 y PC3) que organizan la información según la cantidad de variabilidad que contienen. De esta forma y en términos hipotéticos, la PC1 puede representar alrededor del 70% de la información total, la PC2 el 25% y la PC3 el 5%. La nueva disposición de la información facilita la detección de elementos que pueden ser difíciles de observar a simple vista. Además, al permitir aplicar mecanismos de *clustering* (organización de la información por grupos) y crear imágenes en 8 bits, admiten una segmentación de las áreas de interés más eficaz que otros procedimientos que suelen emplearse en el estudio informático del arte rupestre.

Tras la delimitación de los objetos de interés se procedió a la segmentación de máscaras mediante *K-medias* para crear imágenes visualmente descriptivas de los pigmentos y grabados.

### 3 - RESULTADOS

En total se identificaron 765 grabados en forma de V en distintas zonas del suelo y paredes. En las áreas de grabado se puede constatar la presencia de restos de pigmentos. La hipótesis contemplada en la creación de los grabados es: 1) pulido de superficie de la roca; 2) Coloreado de algunas zonas de la superficie con ocre

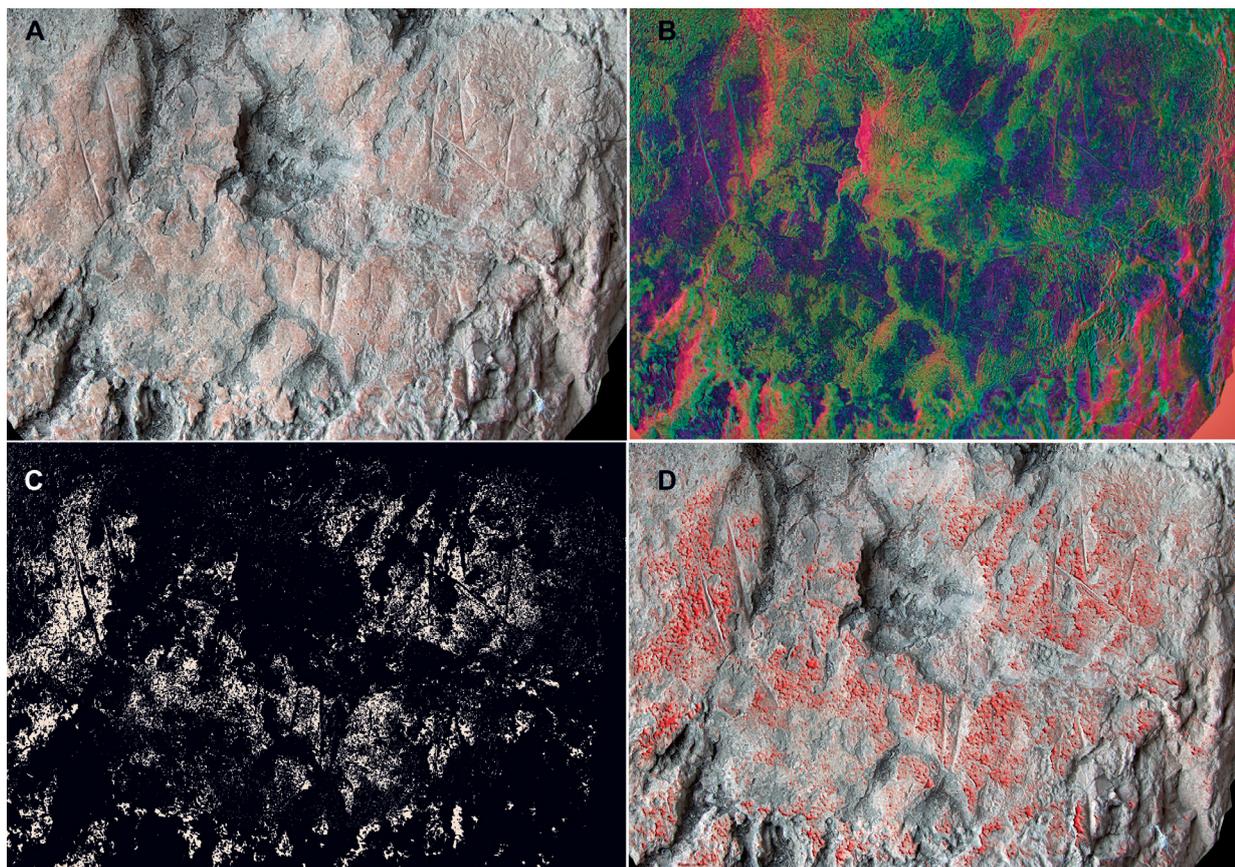


Fig. 2 - A) Imagen original. B) Imagen de Componentes Principales. C) Máscara de segmentación de pigmentos. D) Máscara de segmentación sobre fotografía original.

procesado en forma más o menos líquida; 3) Creación de grabados usando herramientas líticas (CORTES *et al.*, 2018).

Por su parte, la documentación 3D del entorno de los grabados facilitó su catalogación y observación desde un punto de vista que pusiese los distintos vestigios en común, el análisis de Componentes Principales reveló su asociación con pigmentos. Estos pigmentos fueron posteriormente identificados como goethita mediante espectroscopía Raman (CORTÉS *et al.*, 2018).

A través del análisis de imagen se han podido detectar dos densidades de pigmentos. Algunas líneas o puntos con mayor concentración y áreas extensas con pigmento más disperso. No pudiendo atribuir esta circunstancia a una única hipótesis se barajan las siguientes ideas: 1) Las distintas intensidades son debidas al deterioro del pigmento/superficie a lo largo del tiempo; 2) Son causa de una aplicación desigual; 3) La preparación del pigmento carecía de homogeneidad. Aún dadas estas circunstancias, la gran dispersión de restos por todas las áreas de grabados confirman que la superficie estuvo pintada, al menos, en su mayor parte.

## 4 - DISCUSIÓN

Las técnicas de Análisis Digital de Imagen y Visión Artificial se han convertido en herramientas muy utilizadas, especialmente en los casos de arte rupestre. Su importancia viene dada por la posibilidad de análisis sin afectar directamente al objeto de estudio así como en la facilidad de divulgación de los resultados.

En el caso de la Cueva de Las Ventanas la aplicación de estas técnicas ha sido esencial a la hora de analizar una gran cantidad de grabados que, por su situación, eran difíciles de estudiar a simple vista. Además, el estudio de Componentes Principales de las bandas RGB ha permitido catalogar y segmentar los pigmentos que hasta el comienzo de este estudio habían pasado totalmente desapercibidos.

La principal diferencia entre la aplicación de análisis estadísticos multivariantes y el uso de otros procedimientos más comunes (ver p.e: CASTAGNETI *et al.*, 2018; DAVIS *et al.*, 2017; GÁRATE *et al.*, 2019; QUESADA & HARMAN, 2019; SALAZAR *et al.*, 2019) es la posibilidad que estos ofrecen para desarrollar procesos posteriores. Algunos ejemplos son segmentación, *clustering* o clasificación automática.

Este estudio demuestra la necesidad de desarrollar investigaciones interdisciplinares, que obtengan datos a través de diversas técnicas como datación, análisis tipológico, análisis informático y caracterización físico-química. Siendo de dificultad en determinados proyectos, los métodos exclusivos de análisis de imagen pueden llevar a identificar elementos que sólo se correspondan con la interpretación de los datos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por HAR2016-77789-P (Ministerio de Economía y Competitividad de España) y 1943/PI/14 (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España) y el proyecto US-1264079 (I+D+i FEDER Andalucía 2014-2020). Para el trabajo de campo se obtuvo el permiso del Departamento de Cultura de la Junta de Andalucía. También se tuvo el apoyo logístico del Ayuntamiento de Píñar (Granada). Este trabajo fue financiado por el grupo de investigación RNM-349 “Proyecto de restauración y conservación del yacimiento arqueológico “Cueva de las Ventanas”, Departamento de Cultura, Junta de Andalucía (Expediente: BC.01.146/94), “Análisis polínico y datación para Carbono 14 de huesos y coprolitos de hienas provenientes de la Cueva de las Ventanas depositados en el Museo Arqueológico y Etnológico de Granada” Departamento

de Cultura, Junta de Andalucía (Expediente: BC.03/46/09). Recibimos también el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad, número CGL2015-68604.

## REFERENCIAS

- AURA, J. E.; JORDÁ, J. F.; PÉREZ, M.; BADAL, E.; MORALES, J. V.; AVEZUELA, B.; TIFFAGOM, M. & GINER, P. J. (2010) – Treinta años de investigación sobre el Paleolítico Superior en Andalucía: la Cueva de Nerja (Málaga, España). In MANGADO, X. (ed.), *El Paleolítico Superior peninsular. Novedades del siglo XXI. Homenaje a Javier Fortea*. Barcelona: Universidad de Barcelona, p. 149-172.
- BAY, H.; ESS, A.; TUYTELAARS, T. & VAN GOOL, L. (2008) – SURF: Speeded Up Robust Features. In LEONARDIS A.; BISCHOF H., PINZ A. (eds.), *Computer Vision – ECCV 2006. ECCV 2006. Lecture Notes in Computer Science*. 3951, p. 346-359.
- BICHO, N.; MANNE, T.; CASCALHEIRA, C.; MENDONÇA, C.; ÉVORA, M.; GIBAJA, J. F. & PEREIRA, T. (2010) – Paleolítico Superior do sudoeste da Península Ibérica: o caso do Algarve. In MANGADO, X. (ed.), *El Paleolítico Superior peninsular. Novedades del siglo XXI. Homenaje a Javier Fortea*. Barcelona: Universidad de Barcelona, p. 219-238.
- BOLLEN, J.; VAN DE SOMPEL, H.; HAGBERG, A. & CHUTE, R. (2009) – A principal component analysis of 39 scientific impact measures. *PLoSOne*. 4(6), e6022.
- CANTALEJO, P.; MAURA, R.; ESPEJO, M. M.; RAMOS, J.; MEDIANERO, J.; ARANDA, A. & DURÁN, J. J. (2006) – *La Cueva de Ardales: Arte prehistórico y ocupación en el Paleolítico Superior: Estudios 1985-2005*. Málaga: Servicio de Publicaciones, Centro de Diputación de Málaga.
- CASTAGNETTI, C.; ROSSI, P. & CAPRA, A. (2018) – 3D Reconstruction of rock paintings: a cost-effective approach based on modern photogrammetry for rapidly mapping archaeological findings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 364, 012020.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M. (2007) – *El Paleolítico Medio y Superior en el sector central de Andalucía (Córdoba y Málaga)*. Madrid: Monografías Museo de Altamira 22. Ministerio de Cultura.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M. (2010) – El Paleolítico Superior en el sur de la Península Ibérica. Un punto de partida a comienzos del siglo XXI. In MANGADO, X. (ed.), *El Paleolítico Superior peninsular. Novedades del siglo XXI. Homenaje a Javier Fortea*. Barcelona: Universidad de Barcelona, p. 173-198.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M.; JIMÉNEZ-ESPEJO, F. J.; SIMÓN-VALLEJO, M. D.; STRINGER, C.; LOZANO FRANCISCO, M. C.; GARCÍA-ALIX, A.; VERA PELÁEZ, J. L.; ODRIOZOLA, C. P.; RIQUELME-CANTAL, J. A.; PARRILLA GIRÁLDEZ, R.; GONZÁLEZ, A. M.; OHKOUCHI, N. & MORALES-MUÑIZ, A. (2019) – An early Aurignacian arrival in southwestern Europe. *Nature Ecology & Evolution*. 3, p. 207-212.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M.; MARREIROS, J. M.; SIMÓN-VALLEJO, M. D.; GIBAJA-BAO, J. F.; & BICHO, N. (2013) – Reevaluación del Gravetiense en el sur de Iberia. In DE LAS HERAS, P. (ed.), *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la región cantábrica en su contexto peninsular y pirenaico*. Madrid: Monografías Museo de Altamira 23. Ministerio de Cultura, p. 73-85.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M.; RIQUELME-CANTAL, J. A.; SIMÓN-VALLEJO, M. D.; PARRILLA GIRÁLDEZ, R.; ODRIOZOLA, C.; CALLE ROMÁN, L.; CARRIÓN, J. S.; MONGE GÓMEZ, G.; RODRÍGUEZ VIDAL, J.; MOYANO CAMPOS, J. J.; DELADO, F. R.; NIETO JULIÁN, J. E.; GARCÍA, D. A.; MARTÍNEZ-AGUIRRE, M. A.; BARREDO,

- F. J. & CANTERO-CHINCHILLA, F. N. (2018) – Pre-Solutrean rock art in southernmost Europe: Evidence from Las Ventanas Cave (Andalusia, Spain). *PLoS ONE*. 13(10), e0204651.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M.; SIMÓN VALLEJO, M. D.; MORALES-MUÑIZ, A.; LOZANO FRANCISCO, M. C.; VERA PELÁEZ, J. L. & ODRIOZOLA LLORET, C. (2016) – La caverna iluminada: una singular lámpara gravetiense arroja luz sobre el arte parietal de la cueva de La Pileta (Benaolán, Málaga). *Trabajos de Prehistoria*. 73(1), p. 115-127.
- CORTÉS-SÁNCHEZ, M.; SIMÓN VALLEJO, M. D.; PARRILLA GIRÁLDEZ, R. & CALLE ROMÁN, L. (2015) – Old panels and new readings. La Pileta and pre-Solutrean graphics in Southern Iberia. In BUENO-RAMIREZ, P. P.; BAHN, P. (eds.), *Prehistoric art as prehistoric culture. Studies in Honour of Rodrigo de Balbín Behrmann*. Oxford, Archaeopress, p. 135-144.
- DAVIS, A.; BELTON, D.; HELMHOLZ, P.; BOURKE, P. & McDONALD, J. (2017) – Pilbara rock art: laser scanning, photogrammetry and 3D photographic reconstruction as heritage management tools. *Heritage Science*. 5, 25.
- FORTEA, F. J. (2015) – Los comienzos del arte paleolítico en Asturias: aportaciones desde una arqueología contextual no postestilística. *Zephyrus*. 53-54, p. 177-216.
- GARATE, D.; RIVERO, O.; RIOS-GARAIZAR, J.; ARRIOLABENGOA, M.; ALCAIDE, M. A.; RUIZ, J.; INTXAURBE A.; IÑAKI, L.; SALAZAR, S. & LIBANO, I. (2020) – The cave of Atxurra: A new major Magdalenian rock art sanctuary in Northern Spain. *Journal of Archaeological Science Reports*. 29, 102120.
- GRANATO, D.; SANTOS, S. J.; ESCHER, G. B.; FERREIRA, B. L. & MAGGIO, R. M. (2018) – Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 72, p. 83-90.
- KAZHDAN, M. ; BOLITHO, M. & HUGUES, H. ; (2006) – Poisson surface reconstruction. In *Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing (SGP '06)*. Eurographics Association, Switzerland, p. 61-70.
- LOWE, D. G. (2004) – Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*. 60(2), p. 91-110.
- NAVAS, N.; ROMERO-PASTOR, J.; MANZANO, E. & CARDELL, C. (2008) –Benefits of applying combined diffuse reflectance FTIR spectroscopy and principal component analysis for the study of blue tempera historical painting. *Analytica Chimica Acta*. 630(2), p. 141-149.
- PEARSON, K. (1901) – On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *Philosophical Magazine*. 2(11), p. 559-572.
- QUESADA, E. & HARMAN, J., (2019) – A step further in rock art digital enhancements. DStretch on Gigapixel imaging. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 13, e00098.
- RIVERO, O.; RUIZ, J.; INTXAURBE, A.; SALAZAR, S. & GARATE, D. (2019) – On the limits of 3D capture: A new method to approach the photogrammetric recording of palaeolithic thin incised engravings in Atxurra Cave (northern Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 14, e00106.
- RUIZ, J.; HOYER, C.; REBENTISCH, A.; RÖSCH, A.; HERKERT, K.; HUBER, N. & FLOSS, H. (2019) – Tool mark analyses for the identification of palaeolithic art and modern graffiti. The case of Grottes d'Agneux in Rully (Saône-et-Loire, France). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 14, e00107.

- SALAZAR, S.; GARATE, D.; INTXAURBE, I.; RIVERO, O. & MORENO, J. (2019) – An unknown “classic cave”: Re-evaluation of El Salitre (Ajanedo, Cantabria, Spain) rock art with 3D digital recording methodologies. *Journal of Archaeological Science Report*. 26, 101921.
- TRIGGS, P.; MCLAUCHLAN, R. & HARTLEY, A. (1999) – BundleAdjustment – A Modern Synthesis. *ICCV '99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms*. Springer-Verlag, p. 298-372.
- VILLAVERDE, V., (1994) – *Arte paleolítico de la Cova de Parpalló. Estudio de la colección de plaquetas y cantos grabados y pintados*. Valencia: SIP-Diputación de Valencia.
- VILLAVERDE, V. ; CARDONA, J. & MARTÍNEZ-VALLE, R. (2009) – L'art parietal de la grotte Les Meravelles. Vers une caractérisation de l'art paléolithique pré-magdalénien du versant méditerranéen de la Península Ibérique. *L'Antropologie*. 113(5), p. 762-793.

## **METODOLOGÍAS NO INVASIVAS APLICADAS AL ESTUDIO DEL RETABLO “LA VIRGEN DE LA SAPIENCIA” (S. XVI)**

### ***NONINVASIVE METHODOLOGIES APPLIED TO THE STUDY OF THE ALTARPIECE “LA VIRGEN DE LA SAPIENCIA” (16<sup>TH</sup>CENTURY)***

Clodoaldo Roldán García<sup>1</sup>, Sonia Murcia Mascarós<sup>2</sup>, David Juanes Barber<sup>3</sup>, Greta García Hernández<sup>3</sup>  
& Pilar Ineba Tamarit<sup>4</sup>

#### **Abstract**

Non-invasive analyzes have been carried out by infrared photography, energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) and radiography on the table) commissioned by the University of Valencia “La Virgen de la Sapiencia” (by Nicolás Falcó, 1516). The radiographic study revealed the structure and details of the painting scheme, alterations to the paint, and a construction technique typical of the 16<sup>th</sup> century and the Valencian school, using pine wood and the characteristic interior reinforcement system. Infrared photography has been shown as a very useful tool for the study of the underlying drawing of the work and has allowed the detection of early intervention zones, mainly in repainted areas, cracks, losses, and what is more important from the historiographic point of view in this work, modifications in the initial concept that the artist had: the incorporation of the Child in the lap of the Virgin instead of the sun present in the preparatory drawing of the table. Finally, EDXRF analyses indicate that the tempera pigments are compatible with the palette available at the beginning of the 16<sup>th</sup> century.

*Keywords:* EDXRF, radiography, infrared photography, 16<sup>th</sup> century altarpieces, tempera painting on wood.

## **1 – INTRODUCCIÓN**

Este estudio parte de la iniciativa del Vicerrectorado de Cultura y Deporte de la Universitat de València y tiene por objeto el dar respuesta a los interrogantes planteados en relación con la técnica de ejecución y con los materiales utilizados en la confección del retablo de Nuestra Señora de la Sapiencia, realizado por Nicolás Falcó en 1516 por encargo de la Universitat de València. Además de un completo estudio estilístico e iconográfico, se han llevado a cabo estudios analíticos no invasivos mediante radiografía, fotografía infrarroja y fluorescencia de rayos-x dispersiva en energía (EDXRF).

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universitat de València (ICMUV). C/ Catedrático José Beltrán, 2. 46980-Paterna (Valencia, España). clodoaldo.roldan@uv.es

<sup>2</sup> Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universitat de València (ICMUV). C/ Catedrático José Beltrán, 2. 46980-Paterna (Valencia, España).

<sup>3</sup> Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación (IVCR+i). C/ Genaro Lahuerta, 25. 46010-Valencia (España).

<sup>4</sup> Museo de Bellas Artes de Valencia. C/ San Pío V, 9. 46010-Valencia (España).

En el presente trabajo dedicamos una atención especial al análisis de la zona central de la obra, ya que la observación visual y el estudio estilístico evidencian que el autor optó por una solución compositiva un tanto singular en lo que respecta a la posición del Niño Jesús en el regazo de la Virgen María. En opinión de Dr. Daniel Benito Goerlich «... en algún momento bastante avanzado en el curso de la realización de la pintura debió parecer oportuno alterar la idea primitiva y añadir la imagen de la figura del Niño, forzando la composición y comprometiendo el equilibrio de la imagen... No cabe duda que la figura del Niño es de la misma mano que realizó el resto, ...pero parece flotar de modo impreciso ante la Virgen sin encontrar un apoyo determinado en sus rodillas». La hipótesis de que el Niño Jesús se pintó *a posteriori* sobre la Virgen queda avalada por las imágenes de fotografía infrarroja que han visualizado un dibujo subyacente que representa un sol y que indicaría un cambio en la concepción inicial de la obra, ya que dicha imagen no forma parte de la composición final del retablo. La caracterización de los materiales pictóricos en la zona superpuesta al dibujo subyacente del sol aporta una información adicional que contribuye a entender el proceso de ejecución. El estudio detallado de las imágenes subyacentes bajo las capas pictóricas del retablo mediante fotografía infrarroja, el análisis de pigmentos mediante EDXRF y el estudio estructural radiográfico del retablo es objeto de un análisis minucioso.

## 2 - MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 - La obra

Corresponde a la tabla central de un antiguo retablo al templo fabricado para la capilla de la Universitat de València encargado a principios del XVI a Nicolás Falcó. Está constituido por 6 tablas de pino de 15-20 mm de grosor con una superficie total de 204 cm x 156 cm. La preparación consta de capas a base de yeso+calcita y cola orgánica (gelatina) sobre tela encolada aplicada para disimular las juntas de las tablas. La iconografía agrupa a una serie de figuras en torno a la Virgen de la Sapiencia sentada en un trono que sostiene en su regazo al Niño Jesús. A ambos lados del trono, en primer término, están las figuras de San Lucas Evangelista y San Nicolás Obispo. En la parte superior aparecen grupos de ángeles en diversas posturas (Figura 1).

Hay constancia de que la tabla ha sido sometida a restauraciones previas debidamente documentadas: la realizada por Juan de Burgos en 1595; la efectuada por Luis Roig en 1960 y la llevada a cabo por Ángel Barros en 1989 (BARROS, 1989). Probablemente, a lo largo de



Fig. 1 - Nuestra Señora de la Sapiencia (Nicolás Falcó, 1516. Universitat de València. 186 cm x156 cm).



**Fig. 2** – Izquierda: imagen visible (detalle). Derecha: fotografía infrarroja que muestra el sol como dibujo subyacente bajo la manga del Niño.

la historia del retablo, también se realizaron intervenciones (restauración, limpieza, barnizado, ...) de las que no existen registros ni evidencias documentales.

## 2.2 – Radiografía

Se ha empleado un equipo PHILIPS mod. MG-102L que incorpora un tubo de rayos-X que trabaja a un potencial de 100 kV y una intensidad de 15 mA. Las imágenes radiográficas se registraron sobre un rollo de película (AGFA STRUCT D7 en RPAC) de 30.5 cm de ancho y cuyo largo fue ajustado a las dimensiones de la tabla.

## 2.3 – Fotografía infrarroja

La fotografía infrarroja es una técnica de análisis y estudio visual no invasivo que se basa en el empleo de la capacidad que tiene espectro de radiación del infrarrojo cercano de penetrar las capas pictóricas, proporcionando imágenes que permiten observar el dibujo preparatorio realizado por el artista bajo las capas pictóricas (GÓMEZ, 1998; GONZÁLEZ, 2013).

En el estudio mediante fotografía infrarroja se empleó una cámara fotográfica Nikon D7100+18-140G VR n.º 4605571-30233630 sin filtro IR interno. La tabla se iluminó con dos antorchas Hedler halógenas C12 1000W y las distintas capturas se realizaron interponiendo un filtro IR externo Rubí B+W58 092 IR 69520-40x al objetivo de la cámara. Se obtuvieron distintas imágenes ajustando a distintos tiempos de exposición, que se trataron posteriormente mediante el uso de un programa informático GIMP, el cual permitió obtener la imagen final infrarroja en escala de grises.

## 2.4 – Fluorescencia de rayos-X

Los análisis se realizaron en la Capilla de la Sapiencia de la Universitat de València mediante un espectrómetro portátil integrado por: a) fuente de excitación con ánodo de plata (modo transmisión) de baja potencia (30 kV, 3.7  $\mu$ A) y cuyo haz está colimado a un diámetro de 5 mm; b) detector de semiconductor Si-PIN refrigerado termoelectricamente con una resolución en energía de 170 eV (FWHM @ 5.9 keV); c) analizador multicanal y cadena electrónica. La adquisición de datos se programó con un tiempo de análisis de 120 s para cada uno de los puntos seleccionados en el retablo. Debido a que opera en aire, el espectrómetro tiene limitaciones en la detección de elementos ligeros con número atómico  $Z < 14$  (silicio).

## 3 – RESULTADOS

La imagen radiográfica revela que se han empleado seis paneles de madera de pino cuyas medidas (de izquierda a derecha y mirando la cara anterior de la obra) son respectivamente 10.0, 31.5, 30.5, 34.5, 31.5, 12.5 cm. Estas uniones estaban reforzadas por la cara posterior con colas de milano y con tela cubriendo dichas uniones. Las uniones internas de las tablas se realizan con 20 espigas metálicas de hierro como medio de refuerzo interno que miden aproximadamente entre 6.5 y 8.0 cm. En la radiografía se observa que, en algunas zonas alrededor de los bordes del metal, hay una pequeña oxidación que de momento no afecta a la conservación de la madera. El soporte por la cara posterior se ha reforzado con un sistema de embarrotado que sustituye al sistema original del soporte en forma de cruceta, que queda patente en la radiografía por el contraste asociado a las cabezas de los clavos de hierro que sujetaban estas traviesas. Cuando los clavos se cortaron para eliminar las traviesas, se aserraron al nivel de la madera dejando en su interior las cabezas. Por otra parte, las radiografías nos permiten apreciar el uso de tela como refuerzo directamente entre la madera y la capa pictórica. Se observan 3 trozos de tela con bordes deshilachados que desde arriba y hacia abajo miden 78.5 cm, 22.5-23.0 y 77.0 cm. La distancia entre una tela y otra oscila entre 1.5-2.0 cm y 2.0-2.5 cm. Respecto a la capa pictórica, no se observan variaciones importantes de composición de la imagen visible respecto a la invisible al ojo, solamente en alguna zona como es la correspondiente a la arquitectura se vislumbra el dibujo inciso.

La fotografía infrarroja detecta claramente zonas en las que se han realizado intervenciones de restauración previa, en algunos casos posiblemente justificadas por la abertura de grietas en la madera o por pérdida de la capa pictórica como se observa en la bola inferior sobre la mano de San Nicolás. Así mismo, la imagen infrarroja también ha permitido detectar intervenciones de repintes en las letras de la filacteria, restauraciones en los ropajes y carnaciones de los ángeles e incluso rectificaciones en el perfilado del pelo, barbilla y cuello del ángel situado a la izquierda de la Virgen. No obstante, el resultado más significativo asociado a la fotografía infrarroja ha sido la visualización de un dibujo subyacente bajo el brazo derecho del Niño constituido por un sol con rayos en sentido radial y que se encuentran ocultos a simple vista bajo la capa pictórica rosada del vestido de la Virgen (Figura 2). La detección de un sol como dibujo preparatorio en el abdomen de la Virgen sugiere que inicialmente el artista tenía pensado pintar este motivo sobre el vestido y que, posteriormente, decidió pintar en su lugar al Niño en el regazo de la Virgen. Otras evidencias de este cambio en la ejecución son: que la capa pictórica de la carnación del Niño parece más delgada, tal y como se refleja en la imagen infrarroja de la zona del cuello, en la parte superior izquierda del pecho y en el brazo izquierdo, donde se observan trazos diagonales que corresponderían a la continuación del manto azul de la Virgen. En suma, la fotografía infrarroja sugiere que la figura del Niño pudo ser un añadido posterior a la ejecución del manto de la Virgen.

La tabla de “Nuestra Señora de la Sapiencia” se puede considerar una estructura multicapa que consta de una preparación a base de yeso aplicada sobre una tela encolada que cubría el soporte de madera. La capa más superficial de la preparación (imprimación) es una mezcla de cola gelatina y albayalde. Sobre esta última se aplican las capas pictóricas mediante la técnica del temple y, finalmente, se recubren con un barniz protector. Dado que la radiación de fluorescencia tiene suficiente energía para atravesar las diferentes capas, el espectro EDXRF registrado en un punto de análisis incluye información de los elementos químicos inorgánicos presentes en los diferentes estratos (CESAREO *et al.*, 2013). La asignación de un pigmento a un punto de análisis se basa en el color y en la correspondencia entre los elementos químicos detectados y los elementos químicos denominados “elementos clave” que integran el pigmento utilizado (ROLDÁN *et al.*, 2016). Por otro lado, como hemos señalado anteriormente, la técnica analítica utilizada no permite la identificación directa de pigmentos orgánicos por lo que, en estos casos, únicamente podemos postular su presencia sin poder precisar cuál ha sido.

La composición elemental de los pigmentos mediante EDXRF se ha realizado en 80 puntos de la superficie pictórica que son representativos de toda la gama cromática de la tabla, dedicando especial atención al abdomen de la Virgen y la imagen del Niño. Las capas de preparación están integradas por compuestos de calcio y las más superficiales incorporan blanco de plomo. La presencia de plomo es omnipresente en los puntos de análisis lo que sugiere que el autor lo mezcla con otros pigmentos para conseguir variaciones tonales en los colores. Los pigmentos azules a base de azurita son intensos y constituyen una capa pictórica densa superpuesta a la preparación. Se han detectado dos tipos de rojo: el bermellón, empleado en el manto de San Lucas, en las vestimentas de los ángeles y en las carnaciones, y un pigmento rojo que probablemente es una laca que se detecta en la camisa de la Virgen, en la túnica de S. Nicolás y en la vestimenta de uno de los ángeles. Para los ocre, el autor recurre a pigmentos tierra. En las carnaciones, el blanco de plomo está matizado con tonos sonrosados asociados a mezclas con bermellón y pigmentos tierra y con tonos azulados asociados a compuestos de cobre. La túnica de tonos anaranjados es el resultado de la mezcla de un ocre rojo con un amarillo de plomo y estaño. Las tonalidades verdigris, verde azuladas y pardo-azuladas pueden deberse a compuestos de cobre como la malaquita y/o el verdigris que, en algunos casos se matizan con los tonos azulados que aporta la azurita en la mezcla. Los dorados han sido realizados con pan de oro finamente fileteado.

Los análisis EDXRF realizados sobre la figura del Niño, indican que no fue pintado directamente sobre la imprimación, si no que fue pintado sobre el manto y vestimenta de la Virgen con pigmentos que incorporan el blanco de plomo en la mezcla. La imagen subyacente de un sol con rayos, observada con fotografía infrarroja debajo del Niño Jesús, no presenta líneas de fluorescencia de oro, por lo que se deduce que el sol pintado sobre el Verbo de la Virgen es un dibujo subyacente preparatorio probablemente realizado a base de carboncillo (no se ha podido precisar el pigmento o material con que fue dibujado).

#### 4 – CONCLUSIONES

Las imágenes radiográficas han permitido localizar la posición de clavijas y de antiguos elementos de sujeción; identificar el refuerzo de tela sobre la madera; catalogar pérdidas y repintes que distorsionan la imagen radiográfica.

Mediante la fotografía infrarroja se han detectado zonas de intervención de épocas anteriores, se han documentado “arrepentimientos” del autor y se ha identificado un dibujo preparatorio con la imagen de un

sol sobre el cuerpo de la Virgen que el autor decidió no ejecutar incluyendo, a cambio, la figura del Niño en el regazo de la Virgen.

Los análisis EDXRF han permitido identificar la paleta del autor integrada por pigmentos aplicados al temple que son compatibles con los materiales disponibles a principios del siglo XVI: azules a base de azurita que constituyen una capa pictórica densa superpuesta a la preparación; laca roja y bermellón para los rojos; ocre a base de pigmentos tierra; naranjas que son una mezcla de ocre rojo y amarillo de Pb-Sn; blanco de plomo utilizado en las filacterias, vestimentas y que es profusamente mezclado con otros pigmentos para conseguir diferentes matices. Por último, los análisis EDXRF revelan el uso de pan de oro en los dorados.

## REFERENCIAS

- BARROS GARCÍA, J. M. (1989) – Proceso de la restauración. In BENITO GOERLICH, D.; BARROS GARCÍA, J. M.; MUÑOZ VIÑAS, S. (eds.), *Nuestra Señora de la Sabiduría. Las labores de conservación y restauración realizadas por D. Ángel Barros Montero*. València: Universitat de València, p. 46-51.
- CESAREO, R.; DE ASSIS, J. T.; ROLDÁN, C.; BUSTAMANTE, A. D.; BRUNETTI, A. & SCHIAVON, N. (2013) – Multilayered samples reconstructed by measuring  $K_{\alpha}/K_{\beta}$  or  $L_{\alpha}/L_{\beta}$  X-ray intensity ratios by EDXRF. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 312, p. 15-22.
- GÓMEZ GONZÁLEZ, M.<sup>a</sup> L. (1998) – *La restauración: examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid: Cátedra.
- GONZÁLEZ MOZO, A. (2013) – La reflectografía infrarroja y la historia del arte. In *La ciencia y el arte IV. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, p. 163-177.
- ROLDÁN, C.; JUANES, D.; FERRAZZA, L. & CARBALLO, J. (2016) – Characterization of Sorolla's gouache pigments by means of spectroscopic techniques. *Radiation Physics and Chemistry*. 119, p. 253-263.