



digitAR

queologia
chaeology

ig
it
al

q u i t e c t u r a
c h i t e c t u r e
t e s t s

digitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes
Digital Journal of Archaeology, Architecture and Arts

Comissão Científica | Scientific Comission

António Manuel Filipe Rocha Pimentel, CEAACP
Armando José Mariano Redentor, CEAACP
Brais X. Currás Refojos, CEAACP
Carla Alexandra Martins Pedrosa Gonçalves CEAACP
Carlos Alberto Santos Costa, CEAACP
Carlos Etchevarne, CEAACP
Cláudio Figueiredo Torres, CEAACP
Francisco José Pires Pato de Macedo, CEAACP
Gérard Chouquer, CEAACP
Helena Maria Gomes Catarino, CEAACP
Joana Filipa Fonseca Antunes, CEAACP
João Muralha Cardoso, CEAACP
João Pedro Pereira da Costa Bernardes, CEAACP
Jorge Nogueira Lobo de Alarcão e Silva, CEAACP
José Manuel Santos Encarnação, CEAACP
Juan Manuel Campos Carrasco, CEAACP
Lara Beirão Amaral Bacelar Alves, CEAACP
Mária da Conceição Lopes Aleixo Fernandes, CEAACP
Mária da Conceição Lopes, CEAACP
Mária Dalila Aguiar Rodrigues, CEAACP
Mária de Lurdes dos Anjos Craveiro, CEAACP
Mária Inês Correia de Barros Vaz Pinto, CEAACP
Mária João de Sá Viana Sampaio e Melo Valente, CEAACP
Mária José Goulão Machado, CEAACP
Miguel Reimão Lopes da Costa, CEAACP
Patrícia Delayti Telles, CEAACP
Pedro Jorge Cardoso de Carvalho, CEAACP
Raquel Maria Rosa Vilaça, CEAACP
Ricardo Jorge Costeira da Silva, CEAACP
Sandra Patrícia Antunes Ferreira da Costa Saldanha e Quadros, CEAACP
Scott Joseph Allen, CEAACP
Sergio Alexandre da Rocha Gomes, CEAACP
Susana Gómez Martínez, CEAACP
Susana Maria Soares Rodrigues Lopes, CEAACP
Virgílio António Martins Lopes, CEAACP

Conselho de Redação | Redaction Comission

Ana Margarida Arruda, (Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa)
António Faustino de Carvalho, Universidade do Algarve)
António Santos Silva, (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
Blanca Gomes Tubio, (Universidade de Sevilha)
Cristina Maria Barrocas Dias, (Universidade de Évora)
Isabel Prudêncio, (Universidade de Lisboa)
João Muralha Cardoso, (universidade de Coimbra)
José António Paulo Mirão, (Universidade de Évora)
Josefina Perez-Arategui, (Universidade de Zaragoza)
Lucía Bermejo Albarrán, (Centro Nacional de Investigación sobre la Evolucion Humana, Burgos)
Mária Isabel Marques Dias, (Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico)
Marius Vendrell, (Universidade de Barcelona)
Patrícia Moita, (Universidade de Évora)
Rui Jorge Silva, (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa)
Yolanda Carrión, (Universidade de Valência)

TÍTULO	digitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes digitAR - Digital Journal of Archaeology, Architecture and Arts	TITLE
NÚMERO	4	NUMBER
EDITORA	Imprensa da Universidade de Coimbra	PUBLISHER
LOCAL DE EDIÇÃO	Coimbra (Portugal)	PLACE OF PUBLICATION
DATA DE EDIÇÃO	Janeiro de 2017 January, 2017	DATE OF PUBLICATION
PERIODICIDADE	Anual Annual	PUBLICATION FREQUENCY
DIRECTORA	Maria da Conceição Lopes	DIRECTOR
GESTOR EDITORIAL	João Muralha Cardoso	EDITORIAL MANAGER
PAGINAÇÃO E FORMATAÇÃO	Simões & Linhares, Lda.	PAGINATION AND TYPESETTING
CAPA E DESIGN GRÁFICO	Martino Correia	COVER AND GRAPHIC DESIGN
CONTACTOS	revistadigital@gmail.com (+)351 239 851 600	CONTACT INFORMATION
PROPRIEDADE	Centro de Estudos de Arqueologia, Artes e Ciências do Património	PROPERTY
ENDEREÇO POSTAL	Centro de Estudos de Arqueologia, Artes e Ciências do Património - FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA: Largo da Porta Férrea, 3004-530, Coimbra, Portugal	POSTAL ADDRESS
WEBSITE	http://impactum-journals.uc.pt/digital	WEBSITE
CONTEÚDOS	Arqueologia, Artes Património Archaeology Arts, Heritage	CONTENTS
ÍNDICES BIBLIOGRÁFICOS	Web of Science A&HCI (<i>em avaliação undergoing evaluation</i>)	BIBLIOGRAPHIC INDEXES
E-ISSN	2182-844X	E-ISSN
DOI	https://doi.org/10.14195/2182-844X_4	DOI

Ao citar conteúdos da presente revista, os autores deverão identificar sempre o título da revista (digitAR), data de edição, número do volume e páginas.

When citing this journal, authors should always identify the journal title (digitAR), date of publication, volume number and pages.



Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0) - <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>



Índice

Table of Contents

NOTA BREVE	3
Maria da Conceição Lopes	
LA CALIZA DE ESPEJÓN (SORIA, ESPAÑA). CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA	5
Virginia García-Entero, Anna Gutiérrez García-M., Hernando Royo Plumed, Sergio Vidal Álvarez	
CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DA MURALHA TARDO-ROMANA DE OLISIPO	15
L. Almeida, A. Santos Silva e I. Moitinho de Almeida	
MARMORA LUSITANA EN LA BÉTICA ROMANA	23
R. Taylor, E. Ontiveros, M ^a .L. Loza & J. Beltrán	
INVESTIGAÇÃO ARQUEOBOTÂNICA DOS SEDIMENTOS ARQUEOLÓGICOS DE PAÇO DOS LOBOS DA GAMA: UM ARRABALDE ISLÂMICO DA CIDADE DE ÉVORA (SÉCULOS XI-XII)	33
G. Coradeschi, A. Mourer, J. R. Santos, G. Lopes, C. Vignola, L. Sadori & C. Dias	
CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE LA CERÁMICA DEL CASTILLO DE ALBARRACÍN (TERUEL, ESPAÑA) EN LA TRANSICIÓN ENTRE LOS SIGLOS XII Y XIII	41
J. Pérez-Arantegui, A. Hernández Pardos	
DATAÇÃO CRONOLÓGICA POR 14C Y TERMOLUMINISCENCIA DE TAPIALES ISLÁMICOS DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA	51
M.A. Tabales, J. Alejandro, F.J. Blasco-López, V. Flores-Alés, C. Vargas	
PROSPEÇÃO GEOFÍSICA DE VESTÍGIOS DE ESTRUTURAS DO ANTIGO PAÇO REAL DE SÃO FRANCISCO (ÉVORA), COM USO DE GEORRADAR E LASER SCANNER	59
R. J. Oliveira, B. Caldeira, J. F. Borges	
ENSAYOS DE TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA POLICROMÍA DEL ALFARJE Y YESERÍAS DEL PATIO DE LAS DONCELLAS, REAL ALCÁZAR DE SEVILLA.	69
A.I. Calero, A.C. Coba, F.J. Collado Montero, V.J. Medina Flórez	
ESTUDIO DE PÁTINAS PROCEDENTES DE HORNOS DE FUNDICIÓN EN LA REAL FÁBRICA DE ARTILLERÍA DE SEVILLA (S.XVII)	83
V. Flores-Alés, J. Alejandro J.J. Marfín del Río, F.J. Blasco-López, C. Núñez	
LA ARQUEOMETRÍA EN LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE OBJETOS METÁLICOS DEL MUSEO NAVAL DE MADRID	93
F. Agua, J.M. Gálvez Farfán, J. Peña, J.F. Conde, M. González Rodrigo, S. García Ramírez, M. García Heras, M.A. Villegas	

Nota Breve

Do ponto de vista etimológico o termo arqueometria é formado pela união de duas palavras de origem grega **ἀρχαίος** (antigo) e **μετρία** (medida) as quais corporizam o objectivo da disciplina na medição do antigo. A palavra tem um uso recente, atribuindo-se ao professor Christopher Hawkes, nos anos 50 do século XX, na Universidade de Oxford, o uso do termo pela primeira vez. Desde então, os estudos de arqueometria tem evoluído e alargado o âmbito de acção, aproveitando os avanços e possibilidades da tecnologia. Dos múltiplos âmbitos da investigação com que a Arqueometria hoje colabora no conhecimento sobre o passado destaca-se, ainda, a análise de materiais, por se tratar dos documentos fundamentais no trabalho arqueológico. A identificação proporcionada pela análise composicional das matérias primas, a possibilidade de determinar a proveniência e a informação detalhada sobre a tecnologia representam avanços importantes no saber sobre a cultura material pretérita e as cadeias operatórias da sua instrumentalização e uso.

Os recursos em gestão patrimonial são cada vez mais aperfeiçoados e a sua precisão mais afinada. Actualmente, a Arqueometria empresta ao património cultural tecnologias não evasivas que permitem a documentação de estruturas enterradas ou edificadas, favorecendo o conhecimento e as decisões sobre a sua conservação. Para o estudo de obras de arte, as análises e os métodos científicos não destrutivos, como ferramentas analíticas, trouxeram maior capacidade e exactidão, proporcionaram maior garantia à atribuição de autoria das obras de arte mas, também, mais autenticidade e qualidade às medidas de restauro e conservação. Estes temas também estiveram em discussão no XI Congresso Ibérico de Arqueometria, que se celebrou na Universidade de Évora, em outubro de 2015. Fazemos uso de alguns dos contributos aí apresentados para trazer a público as inquietações,, que a arqueometria possibilita aos investigadores em História e Ciências e Artes do passado.

Maria da Conceição Lopes
CEAACP - Coordenadora

LA CALIZA DE ESPEJÓN (SORIA, ESPAÑA). CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA*

THE ESPEJÓN LIMESTONE (SORIA, SPAIN). ARCHAEOMETRIC CHARACTERIZATION.

Virginia García-Entero**

Departamento de Prehistoria y Arqueología UNED (Madrid).

Anna Gutiérrez García-M.***

Institut de Recherche sur les Archéomatériaux (IRAMAT)- Centre de Recherches Physiques Appliquées à l'Archéologie (CRP2A), UMR 5060 CNRS - Université de Bordeaux-Montaigne.

Hernando Royo Plumed

Unitat d'Estudis Arqueomètrics. Institut Català d'Arqueologia Clàssica (Tarragona)

Sergio Vidal Álvarez****

Departamento de Antigüedades Medievales. Museo Arqueológico Nacional (Madrid).

RESUMEN

Presentamos los primeros resultados de la caracterización arqueométrica realizada a cuatro variedades litológicas de caliza de Espejón (Soria) utilizadas en época romana. Se han llevado a cabo análisis petrográficos de microscopía óptica de luz polarizada (MO), catodoluminiscencia (CL), espectrometría de energía dispersiva de rayos X (EDX) y espectrometría de masas de relaciones isotópicas estables de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS) a muestras recogidas en cantera. Los resultados constituyen la base de referencia de estas calizas, imprescindible para llevar a cabo las comparaciones con materiales arqueológicos con el fin de determinar los usos y difusión de estas calizas en la *Hispania* romana.

Palabras Clave: Calizas Espejón, caracterización arqueométrica, catodoluminiscencia (CL), microscopía óptica de luz polarizada (MO), espectrometría de energía dispersiva de rayos X (EDX) y espectrometría de masas de relaciones isotópicas estables de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS).

ABSTRACT

This paper presents the first results of the archaeometric characterization of four lithological varieties of Espejón limestone, outcropping on the province of Soria and used in Roman times. Petrographic analysis (optical transmitted light microscopy –OM–), cathodoluminescence (CL), spectrometry energy dispersive X-ray (EDX) and mass spectrometry of stable isotope ratios of carbon and oxygen ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS) have been carried out on samples collected from quarries. The results form the basis of the reference core of these limestones, which will be subsequently used for future comparisons with archaeological items in order to determine the use and distribution of these limestones in Roman Hispania.

Key words: Espejón limestone, archaeometric characterization, petrography (optical transmitted light microscopy -OM-), cathodoluminescence -CL, spectrometry energy dispersive X-ray (EDX) and mass spectrometry of stable isotope ratios of carbon and oxygen ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS).

* Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación I+D+i "Marmora Hispaniae: Explotación, uso y difusión de la caliza de Espejón en época romana y tardoantigua" (HAR2013-4497P) dirigido por V. García-Entero. El trabajo ha sido realizado en colaboración con el proyecto de investigación *Lapides et marmora Hispaniae: exploitation, usages et distribution des ressources lithiques de Espagne romaine* del LabEx Sciences Archéologiques de Bordeaux (programa financiado por la ANR - n°ANR-10-LABX-52) dirigido por A. Gutiérrez García-M.

** vgarciaentero@geo.uned.es

*** anna.gutierrez@u-bordeaux-montaigne.fr

**** sergio.vidal@mecd.es

1. INTRODUCCIÓN. LAS CALIZAS DE ESPEJÓN EN LA HISPANIA ROMANA: USOS Y DIFUSIÓN.

Presentamos los primeros resultados del proyecto de investigación *Marmora Hispaniae. Explotación, uso y difusión de la caliza de Espejón (Soria) en la Hispania romana y tardoantigua* que pretende profundizar en el conocimiento de la explotación, usos y difusión de las calizas de Espejón (Soria) en época romana en la Península Ibérica partiendo de la información arqueológica. Atendiendo a la utilización de la caliza de Espejón con fines ornamentales en tiempos históricos, conocemos bien su empleo desde el siglo XVI en el programa decorativo de edificios como el Monasterio de El Escorial y, muy especialmente, de algunos erigidos a partir del siglo XVIII por la dinastía borbónica (Palacio Real de Madrid, Reales Sitios, etc.) y que, junto al mobiliario que acompañó estos espacios (chimeneas, consolas, etc.), contribuyeron al prestigio de la nueva monarquía. Es en este contexto en el que se inicia una explotación sistemática de las canteras de caliza de Espejón y San Jerónimo de Espeja que será masivamente empleada en la decoración interior de edificios construidos durante los siglos XVIII-XIX al amparo de la monarquía (Tárraga Baldó, 1999, 2002 y 2009; Frías, 2005). Muy inferior es, sin embargo, el conocimiento que hoy tenemos sobre la explotación, usos y difusión de las calizas de Espejón en época romana en Hispania¹. Su presencia en varios edificios de la ciudad de *Clunia* (Peñalba de Castro, Burgos) (Palol, 1994; Gutiérrez Behemerid, 2003 y 2004), hizo que durante algún tiempo este material lapídeo apareciera exclusivamente vinculado con el programa monumental de esta ciudad distante apenas una decena de kilómetros del área de extracción,

siendo considerado un *marmor* local de poco recorrido más allá de la capital del *conventus Cluniensis* (Cisneros, 1988 y 1997; Pérez Olmedo, 1996). Las variedades cromáticas de esta caliza, en las que el amarillo es muy abundante, han llevado a algunos autores a considerarla como un material de sustitución de *marmora* importados como el *giallo antico* (Cisneros, 1997 y 2012). No obstante, excavaciones llevadas a cabo en los últimos años y la revisión de materiales lapídeos exhumados en intervenciones antiguas, han supuesto un importante revulsivo en relación con el conocimiento del empleo de la caliza de Espejón en *Hispania* que permite afirmar que este material lapídeo parece constituirse como la roca ornamental más importante del interior peninsular en época romana. Su localización en la pavimentación de la fase augustea del foro de *Segobriga* (Cebrián, 2004 y 2012) permite no sólo conocer que el inicio de la explotación de esta caliza se produjo en época de Augusto, sino descartar ya en épocas tan tempranas su utilización como un *marmor* vinculado exclusivamente con el programa ornamental de *Clunia*. Esta realidad se ve confirmada por la presencia del *marmor* de Espejón en la Basílica de *Complutum* (Alcalá de Henares, Madrid) (Durán, 1998) y en diferentes edificios de *Asturica Augusta* (Astorga, León) (Sevillano & Vidal, 2002; Cisneros *et alii*, 2011). También en ámbito urbano, se ha identificado muy recientemente su presencia en *Legio* (León), en un *labrum* quizás vinculado con una de las termas públicas de la ciudad (Morillo & Salido, 2010) y, ya en el siglo V d.C., en una repavimentación del teatro de *Caesaraugusta* (Cisneros, 2012). Esta caliza formó también parte de los programas decorativos de ámbito privado, tanto urbano (*Asturica Augusta*, *Uxama*, *Clunia*), como rural, como demuestra el masivo uso de *marmor* de Espejón en el edificio palacial tardorromano de Carranque (Toledo) (García-Entero & Vidal, 2007 y 2012) y en las *villae* de La Olmeda (Palencia), Los Villares (Quintana del Marco, León) y Cuevas de Soria (Dehesa de Soria,

¹ Apenas existen trabajos dedicados al uso de estas calizas en época romana. Cabe destacar un estudio preliminar de M. Salán (2012) y un trabajo reciente centrado en el uso de calizas de Espejón en epigrafía (Rodríguez & Salido, 2014). Los primeros resultados de nuestra investigación han sido presentados en el XI congreso ASMOSIA celebrado en Split en mayo de 2015 (García-Entero, Gutiérrez García-M. & Vidal Álvarez, 2015 e.p.).

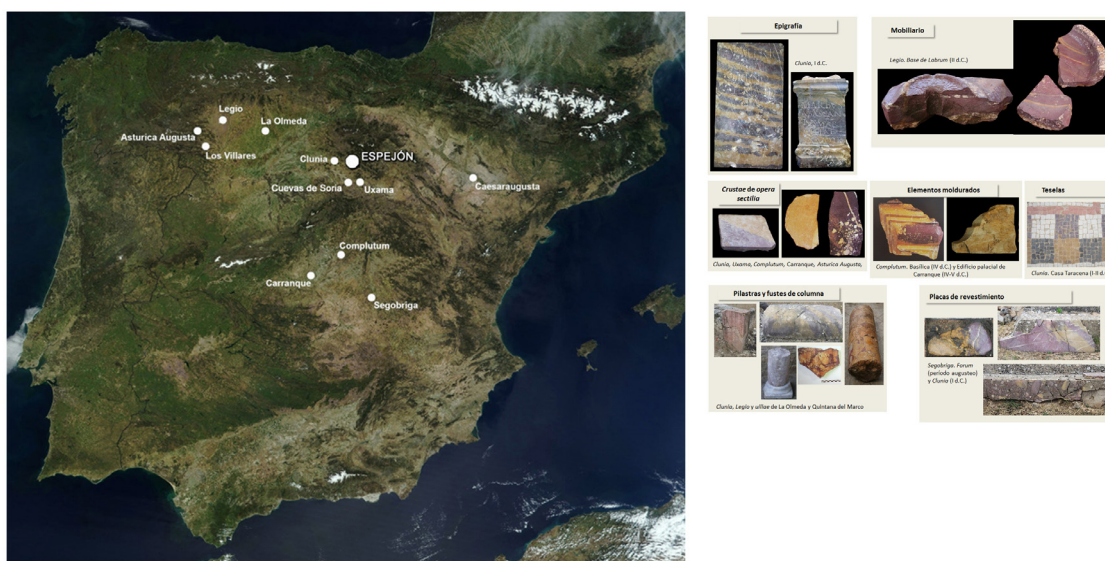


Figura 1- Mapa de la Península Ibérica con localización de los sitios arqueológicos en los que se ha identificado el uso de caliza de Espejón. Dcha.: Ejemplos atestiguados de los usos de las calizas de Espejón en época romana.

Soria) por citar tan sólo alguno de los casos a los que hemos tenido acceso². Utilizadas, por tanto, desde época augustea hasta época tardorromana (siglos IV-V d.C.) en todo el interior peninsular, las calizas de Espejón sirvieron para la elaboración de soportes epigráficos, placas de revestimientos parietal y pavimental, *crustae de opera sectilia*, fustes de pilastra y columna, mobiliario y teselas (García-Entero *et alii*, 2015 e.p.) (Fig. 1).

2. LA CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE LAS CALIZAS DE ESPEJÓN³

Desde el punto de vista geológico, se trata de calizas cretácicas de gran variabilidad cuyos afloramientos son visibles en los actuales términos municipales de Espejón, Espeja de San

Marcelino y Cantalucia (Soria) donde hemos centrado nuestro muestreo⁴. Hasta el momento hemos identificado siete variedades (Tipos 1 a 7) sobre las que hemos comenzado un protocolo analítico multimétodo consistente en análisis petrográficos de microscopía óptica de luz polarizada (MO), catodoluminiscencia (CL), espectrometría dispersiva de rayos X (EDX) y espectrometría de masas de relaciones isotópicas estables de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS)⁵. Se trata de caracterizar arqueométricamente las variedades identificadas en origen como paso previo imprescindible para su posterior identificación entre los materiales arqueológicos objeto de estudio⁶.

⁴ Véase Álvarez *et alii*, 2009: 54-59.

⁵ Queremos indicar que hasta el momento este protocolo analítico se ha llevado a cabo sobre los tipos 1, 4, 5 y 7 cuyos resultados son objeto de esta publicación, quedando pendientes de realizar los análisis a los tipos 2, 3 y 6. Los análisis de EDX y IRMS se realizaron en Instituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR (Roma).

⁶ Especialmente significativa nos parece la caracterización arqueométrica del tipo 5, que presenta gran parecido macroscópico con la breccia policroma dei Caetani (de procedencia desconocida) y la brecha da Arrábida (Setúbal, Portugal) profusamente utilizadas en la decoración de edificios históricos.

² Queremos hacer hincapié en la ausencia de caliza de Espejón entre los materiales lapídeos empleados en la decoración de los distintos espacios de la villa de Nohe-da (Cuenca) como hemos tenido ocasión de comprobar tras la revisión de la totalidad del marmor localizado hasta 2015, a pesar de que algunos autores así lo han indicado (Rodríguez & Salido, 2014: 639).

³ Los análisis de las muestras tomadas han sido realizados en la Unitat d'Estudis Arqueomètrics del Institut Català d'Arqueologia Clàssica (Tarragona).

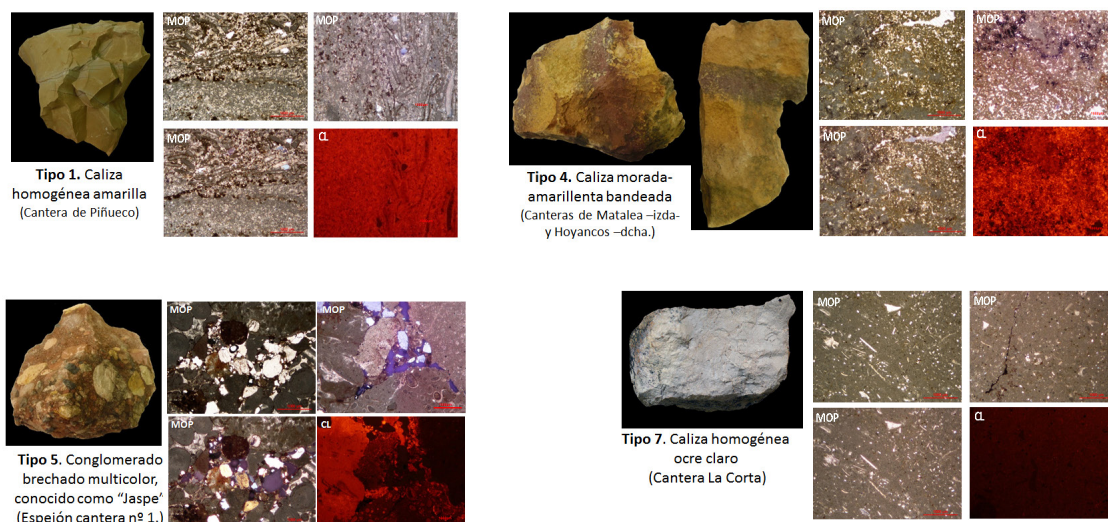


Figura 2- Muestras y Microfotografías de Microscopía óptica de luz polarizada y catodoluminiscencia

Tipo 1. Caliza homogénea amarilla (Muestra ESP7076. Cantera de Piñueco) (Fig. 2).

MO: Caliza micrítica bandeada. Bandas pelmicríticas (Folk, 1959 y 1962) de tonalidades ocre y amarillentas (micropackstone) y bandas biopelosparíticas de tonos marrones (grainstone, según Dunham, 1962). Las bandas de tonos claros son homogéneas con componentes aloquímicos de tamaño de grano muy fino, o micropeloides que destacan sobre la matriz micrítica por su mayor contenido en óxidos de hierro. Contiene además microfósiles de difícil identificación por su escaso tamaño pero llegan a identificarse por su forma de pequeñas conchas bivalvas y muy escasos microforaminíferos, ambos con envuelta de micrita y rellenos de microesparita. Estos componentes de bioclastos destacan sobre el barro micrítico que se presenta parcialmente recristalizado a microesparita. Se presentan óxidos de hierro concentrados en algunas zonas de forma irregular. En las bandas de tonos marrones predominan los bioclastos sobre otros componentes aloquímicos (peloides e intraclastos algunos con

microfósiles incluidos). Estos componentes esqueléticos tienen formas alargadas y se encuentran orientados subparalelamente entre sí, propiciando una laminación muy marcada visible incluso a escala visual. Entre ellos se diferencian fragmentos algales y de foraminíferos tipo orbitolínidos, característicos por su morfología en forma de disco-planar. Los bioclastos se encuentran casi totalmente micritizados y con una envuelta externa de óxidos de hierro. Los peloides y escasos intraclastos muestran también el mismo tipo de envuelta. El cemento de estas zonas laminadas es de calcita tamaño esparita. La fracción detrítica está compuesta por cuarzo monocristalino, especialmente en las bandas donde predominan los fragmentos fósiles. Sus características de contornos angulosos indican su carácter mecánico con escaso transporte y tamaños semejantes a los bioclastos con una marcada selección. El conjunto se encuentra atravesado por microgrietas irregulares subperpendiculares al sedimento. Estas grietas se presentan rellenas por esparita de mayor desarrollo que el cemento, que ha precipitado además sellando la porosidad de distribución irregular. En

ambos tipos de porosidad se concentran óxidos de hierro en las paredes.

CL: Se observan diferentes intensidades de luminiscencia en rojo oscuro a rojo anaranjado en función del contenido ferruginoso. La esparita intraparticular presenta una luminiscencia naranja extremadamente intensa.

Tipo 4. Caliza morada-amarillenta bandeada (Muestras ESP7077 y ESP7078. Canteras de Matalea y Hoyancos). (Fig. 2)

MO: Caliza granulosa bandeada bicolor, con zonas amarillentas y zonas rojizo-violáceas. Según la clasificación de Folk (1959 y 1962) se trata de una pelesparita, y según Dunham (1962) se trata de un grainstone. La diferencia de color se debe a la distinta concentración de óxidos de hierro que envuelven a los componentes aloquímicos de la roca y a la presencia de minerales opacos accesorios. Los componentes aloquímicos están integrados por peloides micríticos muy homogéneos de tamaño en torno a las 100 micras, con secciones circulares o ligeramente elípticas. Presenta en un porcentaje minoritario restos esqueléticos de fósiles de pequeñas dimensiones (fragmentos de conchas de difícil identificación). No se observa porosidad abierta. La porosidad (tanto interpartícula como secundaria) está rellena de cemento calcítico esparítico. La porosidad original del sedimento se ha visto reducida también por compactación que se observa por los contactos largos entre los granos.

CL: Su respuesta luminiscente es muy similar a la del tipo 1.

Tipo 5. Conglomerado brechado multicolor, "Jaspe" (Muestra ESP7079. Espejón cantera nº 1). (Fig. 2)

MO: Brecha-conglomerado polimictico de cantos centimétricos de coloración variada (multicolor) en tonos claros ocre, amarillos y grises, junto a otros más oscuros rojizos, marrones y grises, envueltos en una escasa matriz rojiza. Ocasionalmente la compactación del sedimento ha conducido a una ligera interpenetración

de los clastos, con contactos largos. La roca puede clasificarse como conglomerado grano sostenido (Boggs, 1992), por la muy limitada cantidad de matriz micrítica entre sus clastos, de bordes mayormente subredondeados. Éstos tienen una naturaleza carbonatada de distinta litología con una cantidad variada de óxidos de hierro. Desde el punto de vista de la clasificación, contiene una amplia variedad de fragmentos líticos entre los que destacan, según las clasificaciones de Folk (1959, 1962) y Dunham (1962), respectivamente, las siguientes: micrita o mudstone, micrita fosilífera (biomicrita) o mudstone con <10 % de bioclastos, ooesparita o grainstone oolítico, intraesparita o grainstone de intraclastos, micrita con peloides o wackestone. Contiene terrígenos de cuarzo monocristalino de bordes subredondeados y subangulosos. El esqueleto está trabado por un cemento esparítico. El conjunto ha sufrido una compactación importante, observándose bajo el microscopio, los efectos de procesos de disolución por presión, con los consiguientes contactos suturados a muy suturados entre los granos. CL: Su luminiscencia es altamente heterogénea, en función de los distintos componentes de la roca. La matriz ferruginosa presenta una luminiscencia naranja de alta intensidad, mientras que la de los distintos fragmentos de rocas carbonatadas tiene una intensidad muy variable y coloración desde rojo oscuro a anaranjado en función de su contenido en hierro. No se observa respuesta luminiscente (o muy débil) en el cuarzo y la turmalina

Tipo 7. Caliza homogénea ocre claro (Muestra ESP7081. Cantera La Corta). (Fig. 2)

MO: Caliza homogénea micrítica de tono ocre claro. Se trata de una biomicrita (Folk, 1959 y 1962) o wackestone (Dunham, 1962). El contenido de aloquímicos es moderadamente bajo, pero >10%. Contiene, entre los bioclastos de mayor tamaño, especialmente fragmentos esqueléticos de algas, gasterópodos, conchas de bivalvos,

algunas muy finas o filamentosas y posibles placas de equinodermos, junto con microforaminíferos variados, microespinas circulares de equinoideos. Son muy escasos los intraclastos carbonatados. La matriz micrítica con óxidos de hierro dispersos, es dominante,

pero de forma parcheada contiene res cristalizaciones de microesparita. La fracción de cuarzos terrígenos es poco significativa, en cantidad y tamaño. No muestra porosidad abierta y son características las superficies estilolíticas donde se acumulan óxidos de hierro.

Tabla 1- Análisis químico puntual de los componentes carbonatados y los minerales accesorios distinguidos microscópicamente en cada una de las muestras consideradas para cada tipo de roca definido visualmente. Cal: calcita, Ox (Fe): óxido de hierro, Qtz: cuarzo, Tur: turmalina. []: mineral enmascarado por otros adyacentes mayoritarios (calcita)

TIPO 1 (ESP-7076)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1 Cal (matriz micrítica)	0,0		0,0			0,0	100,0		
2 Cal (orbitolínido)	0,0						100,0		
3 [Ox(Fe)]	10,0		4,3	11,8		3,6	70,3		
4 Qtz	100,0						0,0		
5 Tur	43,2	0,4	19,9	2,5		7,8	24,2	2,1	
TIPO 4 (ESP-7078)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1 Cal (matriz micrítica)	0,0		0,0	0,0		0,0	100,0		
2 Cal (micropeloide)	0,0		0,0	0,0		0,0	100,0	0,0	
3 Cal + Ox(Fe) (micropeloide ox.)	4,2		1,5	5,4			89,0		
4 Cal + Ox(Fe) (micropeloide ox.)	5,5			3,7			90,9		
TIPO 4 (ESP-7077)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1 Cal (micropeloide)	0,0						100,0		
2 Cal(micropeloide ox.)	0,0		0,0	0,0		0,0	100,0		
3 Cal (cemento esparítico)	0,0						100,0		
4 Cal (cemento esparítico)	0,0					0,0	100,0		
TIPO 5 (ESP-7079)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1 Cal (matriz micrítica)	0,0						100,0		
2 Cal (matriz micrítica)	0,0		0,0				100,0		
3 Cal (matriz micrítica ox.)	0,0			0,0			100,0		
4 Cal (ooide)	0,0						100,0		
5 Cal (cemento esparítico)	0,0						100,0		
6 Qtz	100,0						0,0		
7 Qtz	100,0						0,0		
8 Qtz	100,0						0,0		
9 Tur	51,9	0,6	21,3	3,2		7,7	13,2	2,1	
TIPO 7 (ESP-7081)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1 Cal (matriz micrítica)	0,0		0,0			0,0	100,0		
2 Cal (matriz micrítica)	0,0		0,0				100,0		
3 Cal (relleno micrítico)	0,0						100,0		
4 Cal (bivalvo)	0,0						100,0		

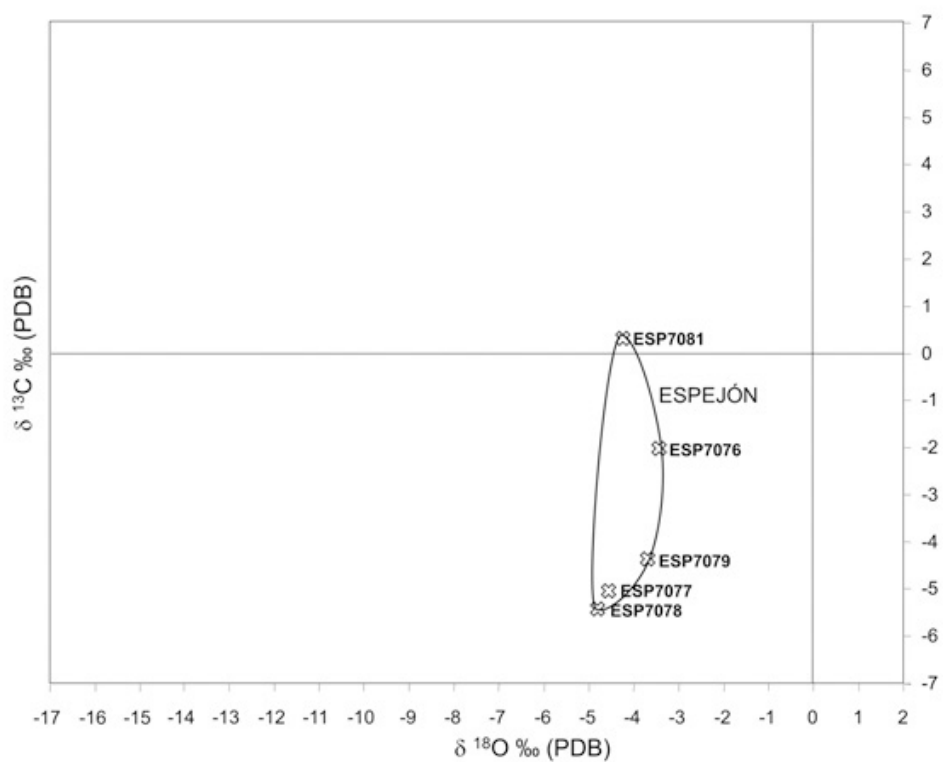
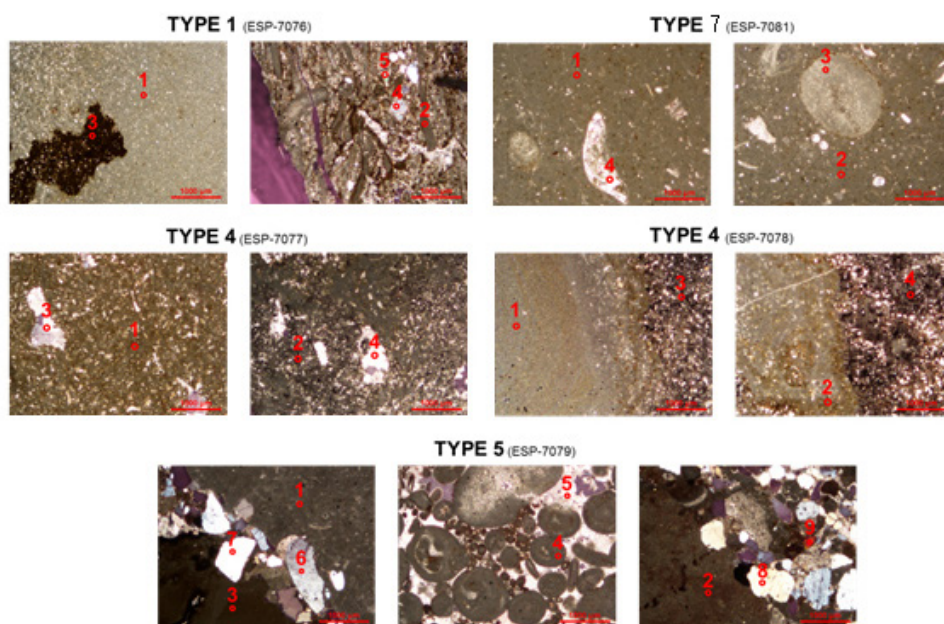


Figura 3- Arriba: Microfotografías de los componentes analizados con la situación exacta el punto medido, en cada uno de los litotipos. La numeración de los análisis se referencia en la tabla 1. Abajo: Gráfico de dispersión con los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ (en ‰, PDB) de las muestras correspondientes a las fracciones micríticas amarillentas y clastos equivalentes en los tipos brechados. Propuesta inicial de campo de distribución general para los tipos de piedra de Espejón.

Análisis de EDX⁷. (Fig. 3 y Tabla 1).

La composición calcífica de los Tipos 1, 4 (muestras ESP7077 y 7078), 5 y 7 ha sido corroborada con el análisis químico puntual de EDX. Son calizas con un bajo contenido de componentes no-carbonatados, generalmente inferior al 10%, sin superar el 30% incluso en el tipo 5, de mayor carácter detrítico (framework-supported conglomerate). Los minerales accesorios ratificados analíticamente se limitan a cuarzo y turmalina. El cuarzo es mineral accesorio común en este tipo de rocas. En cambio, la turmalina es menos común resultando más discriminante, aunque su presencia es en porcentajes muy minoritarios, siendo ratificada en los tipos 1 y 5 (Tabla 1). El aspecto del componente analizado con la situación exacta de punto analizado se muestra en la figura 3.

Análisis de IRMS⁸ (Fig. 3)

El rango de valores isotópicos obtenidos es relativamente amplio, especialmente en el caso de los valores de $\delta^{13}\text{C}$,

preferentemente negativos. Sus relaciones isotópicas varían de -5,39 a 0,32 ‰ (PDB) para $\delta^{13}\text{C}$ y de -4,81 a -3,44 ‰ (PDB) para $\delta^{18}\text{O}$. La capacidad discriminante de este método en esta litología está disminuida por falta de estudios isotópicos de referencia en otras piedras similares utilizadas en la Antigüedad. En efecto, su importancia radica en su futuro función de valores de referencia para futuras identificaciones de objetos u elementos arqueológicos elaborados en esta caliza.

CONCLUSIONES

Hemos presentado los resultados de la caracterización arqueométrica realizada a cuatro variedades de caliza de Espejón (Soria) utilizadas en época romana, trabajo que constituye el inicio de un protocolo analítico que pretendemos extender al resto de variedades identificadas. Se trata de un protocolo analítico multimétodo en el que se ha abordado el análisis petrográfico de microscopía óptica de luz polarizada (MO), catodoluminiscencia (CL), espectrometría de energía dispersiva de rayos X (EDX) y espectrometría de masas de relaciones isotópicas estables de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) (IRMS) a muestras recogidas en cantera. Estas referencias analíticas constituirán la base de referencia para las calizas de Espejón sobre las que se llevarán a cabo las comparaciones con materiales arqueológicos de época romana.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A., Domènech, A., Lapuente, P., Pitarch, À & Rojo, H. 2009. *Marbles and stones of Hispania. Exhibition Catalogue*. Tarragona.
- Bogg, S. 1992. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Macmillan Publishing Co.
- Capedri, S., Venturelli, G. & Photiades, A 2004. "Accessory minerals and $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of marbles from the Mediterranean area". *Journal of Cultural Heritage*. 5, 27-47.
- Cebrián, R. 2004. «El revestimiento marmóreo del Foro y los elementos arquitectónicos». En Ramallo, S., *La decoración arquitectónica en las ciudades romanas de Occidente*. Murcia, 244-249.
- Cebrián, R. 2012. «Mármoles coloreados de producción hispana utilizados en la decoración arquitectónica de edificios públicos en Segobriga (Saelices, Cuenca)». En Carrasco Serrano, G. (coor.), *La ciudad*

7 Se ha realizado un análisis EDX mediante un dispositivo de emisión de electrones con un detector EDX acoplado a un microscopio de luz polarizada (PLM) para corroborar indirectamente el tipo de carbonato en los diferentes componentes carbonatados de la roca y la naturaleza de los minerales accesorios presentes (Capedri *et alii*, 2004). Como estándar de referencia se utiliza una lámina de germanio (Ge) por la fiabilidad de su espectro. Las medidas se realizan excitando la muestra con un haz de electrones generado por un dispositivo de emisor de energía a 200 μA de intensidad de corriente eléctrica y 18 kV de potencial eléctrico, en puntos de 50 μm de diámetro. El dispositivo utilizado para el análisis EDX es un CITL CL8200 Mk5-1 con un detector de rayo X Amptek Axis SDD perteneciente a la Unitat d'Estudis Arqueomètrics del Institut Català d'Arqueologia Clàssica ICAC (Tarragona).

8 El estudio de las relaciones isotópicas estables de carbono y oxígeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) se ha realizado mediante un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas (IRMS) de acuerdo con el procedimiento habitual (McCrea, 1950, Craig, 1957), expresando los resultados en ‰ relativo al estándar de referencia internacional PDB. Ambas relaciones son las más comunes en los estudios de rocas carbonatadas. En esta propuesta inicial de un campo de distribución isotópico C-O se han utilizado conjuntamente todos los tipos de roca definidos. Las muestras medidas han sido tomadas de la fracción micrítica de tonalidad amarillenta o de los clastos equivalentes en los tipos brechados o conglomerados. IRMS FINNIGAN Gass Bench II perteneciente al Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria IGAG-CNR (Roma, Italia).

- romana en Castilla-La Mancha, Cuenca, 371-396.
- Cisneros, M. 1988. *Mármoles hispanos: su empleo en la España romana*. Zaragoza.
- Cisneros, M. 1997. «Mármoles de importación y mármoles de sustitución: su utilización en algunas ciudades hispanas». *Veleia*. 14, 195-203.
- Cisneros, M. 2012. «El uso del marmor en el valle del Ebro». En García-Entero, V. (ed.), *El marmor en Hispania. Explotación, uso y difusión en época romana*. Madrid, 115-134.
- Cisneros, M., Gisbert, J. & Somovilla, I. A., 2011. «El uso del mármol en la arquitectura de *Asturica Augusta*», *Anuario de Arqueología Cordobesa*. 21-22, 93-126.
- Craig H. 1975. "Isotopic standards of carbon and oxygen and correlations factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide". *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 12, 133-149.
- Dunham, R. J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". En Ham, W. E. *Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir*. 1, 108-121.
- Durán, R. 1998. «La arquitectura pública en *Complutum*. Elementos decorativos y materiales constructivos». En Rascón, S., *Complutum. Roma en el interior de la Península Ibérica*. Alcalá de Henares. 94-105.
- Folk, R. L. 1959. "Practical classification of limestones". *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. 43, 1-38.
- Folk, R. L. 1962. "Spectral subdivision of limestone types". En Ham, W. E., *Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir*. 1. 62-84.
- Frías, J. V. 2005. «Las canteras de Espejón». *Revista de Soria*. 50, 51-62.
- García-Entero, V. & Vidal, S. 2007. *Marmora from the Roman Site of Carranque (Toledo, Spain)*. *Marmora*. 3, 9-25.
- García-Entero, V. & Vidal, S. 2012. «El uso del marmor en el yacimiento de Carranque (Toledo)». En García-Entero, V. (ed.), *El marmor en Hispania. Explotación, uso y difusión en época romana*. Madrid, 135-153.
- García-Entero, V., Gutiérrez García-M. A. & Vidal Álvarez, S. 2015 e.p. «Espejón Limestone (Soria, Spain): Quarrying, Archaeometric characterization and uses in Hispania». *XI ASMOSIA International Conference* (Split, mayo 2015).
- Gutiérrez Behemerid, M^a A. 2003. *La decoración arquitectónica en la Colonia Clunia Sulpicia*, *Studia Archeologica*. 92. Valladolid.
- Gutiérrez Behemerid, M^a A. 2004. «Los programas arquitectónicos de época imperial en el *Conventus Cluniensis*». En Ramallo, S., *La decoración arquitectónica en las ciudades romanas de Occidente*. Murcia, 275-292.
- McCrea, J. M. 1950. "On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale". *Journal of Chemical Physics*. 18, 849-857.
- Morillo, A. & Salido, J. 2010. «*Labrum* romano procedente de las termas del campamento de la Legio VII Gemina de León». *Zephyrus*. LXV, 167-178.
- Palol, P. 1994. *Clunia. Historia de la ciudad y guía de las excavaciones*. Burgos.
- Pérez Olmedo, E. 1996. *Revestimientos de Opus Sectile en la península Ibérica. Studia Archaeologica*. 84. Valladolid.
- Rodríguez Ceballos, M. & Salido Domínguez, J. 2014. «Marmora para las elites de Clunia. El empleo del Espejón como soporte epigráfico y nuevas evidencias de su uso ornamental». En Caballos, A. & Melchor, E. (eds.), *De Roma a las provincias: las elites como instrumento de proyección de Roma*. Sevilla, 633-668.
- Salán, M. 2012. "Espejón marmor and its use in Roman Hispania". En Gutiérrez García-M., A., Lapuente, P. y Rodà, I. (eds.), *Proceedings of the IX ASMOSIA Conference (2009)*. Tarragona, 146-150.
- Sevillano, Á. & Vidal, J. 2002. *Ubs magnifica. Una aproximación a la Arqueología de Asturica Augusta (Astorga, León)*. Museo Romano. León.
- Tárraga Baldó, M^a L. 1999. «Las canteras históricas de Espejón al servicio de la ornamentación del Palacio Real de Madrid». *Litos. La Revista de la piedra natural*. 41, 38-52.
- Tárraga Baldó, M^a L. 2002. «Criterios en la elección de materiales para la ornamentación escultórica del Palacio Real de Madrid». *ROC Maquina*. 71, 42-49.
- Tárraga Baldó, M^a L. 2009. «Mármoles y rocas ornamentales en la decoración del Palacio Real de Madrid». *AEArte*. LXXXII-328, 367-391.

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DA MURALHA TARDO- ROMANA DE OLISIPO

MORTARS CHARACTERIZATION OF OLISIPO LATE ROMAN WALL

L. Almeida*

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora

A. Santos Silva**

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

I. Moitinho de Almeida***

IDL, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

RESUMO

No âmbito do Projecto Integrado de Estudo e Valorização da "Cerca Velha" de Lisboa, promovido pela Câmara Municipal de Lisboa desde o ano de 2009, foram realizadas várias intervenções arqueológicas que permitiram comprovar que o traçado deste equipamento defensivo remonta à época romana (Séculos I e finais do III – IV d. C.).

Na sequência daquelas intervenções, que possibilitaram um levantamento rigoroso da estrutura tardo-romana de *Olisipo* de cronologia correlacionável com finais do séc. III e início do séc. IV d. C. foi realizado um trabalho de caracterização de argamassas daquela estrutura.

Deste trabalho resultou a caracterização de amostras daqueles materiais visando a interpretação construtiva tipo-tecnológica, o esclarecimento de proveniências da matéria-prima utilizada e a análise do actual estado de conservação da estrutura nos locais amostrados, identificando os principais factores de degradação.

A metodologia utilizada compreendeu caracterizações granulométrica, mineralógica, química, petrográfica, física, mecânica e microestrutural. O trabalho contribuiu para o aumento do conhecimento das técnicas ancestrais de construção, numa perspectiva de conservação e restauro do património histórico-arquitectónico.

Palavras chave: Caracterização, Argamassa, Muralha, Romana, Lisboa.

* lotich@gmail.com

** ssilva@lnec.pt

ABSTRACT

Since 2009 the City Hall of Lisbon has sponsored the study and valorization of the "Cerca Velha" (Old Rampart) of Lisbon, Portugal. The archaeological excavations done allowed checking the layout of the medieval Wall back to Roman times. These interventions enabled a partial mapping of the late Roman *Olisipo*'s defensive wall correlated with the end of the 3rd and the beginning of the 4th century CE. This work presents the characterization of those construction materials in order to pursue an interpretation for standard construction technologies and to clarify the sources of raw materials used, as well as to identify potential degradation factors. The methodology used involves a comprehensive use of mechanical, physical, chemical, mineralogical and microstructural techniques. The results obtained contributed to increase the knowledge of the ancestral techniques in a perspective of conservation and restoration of historical and architectural heritage.

Key words: Characterization, Mortar, Wall, Roman, Lisbon

*** imalmeida@fc.ul.pt

1. INTRODUÇÃO

Promovido pela Câmara Municipal de Lisboa, o projecto de Estudo e Valorização da "Cerca Velha" de Lisboa, através do seu Centro de Arqueologia, permitiu comprovar que o traçado da estrutura defensiva remonta à época romana. Foram realizadas sondagens arqueológicas pontuais, colmatadas após registo e recolha de elementos utilizando uma estratégia de minimização de impactos arqueológicos. Através de uma abordagem metodológica que compreendeu uma exaustiva utilização de técnicas analíticas complementares, este trabalho pretendeu relacionar diferentes funcionalidades da estrutura com as tecnologias de construção, através da análise das razões agregado/ligante das argamassas e apontar eventuais proveniências de matérias-primas, incluindo a natureza e a composição dos agregados e do ligante. Atendendo ao facto da "Cerca Velha" possuir uma vasta dispersão cronológica construtiva e com o objectivo de comparar técnicas construtivas de dois períodos distintos, foi incluído neste trabalho a caracterização de uma amostra de argamassa de uma estrutura de muralha Romana de cronologia Alto-Imperial (séc. I a II d.C.) (Carvalhinhos & Mota 2013).

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

A zona de implantação da muralha situa-se na encosta sul da colina de S. Jorge, na Freguesia de Santa Maria Maior.

Do ponto de vista geológico, a encosta foi talhada em rochas detríticas e carbonatadas do Miocénico, constituídas por alternâncias de argilas e siltes com níveis margosos, calcários e calcários margosos com conteúdos variáveis em areia e areias finas frequentemente micáceas, sobre as quais assentam aluviões, nas zonas altimétricas mais baixas (Almeida 1986).

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Amostragem

Foram recolhidas amostras de argamassas do interior (núcleo) e do exterior (juntas entre silhares) das estruturas intervencionadas, assim como das suas fundações (embasamentos). A fig. 1 apresenta uma representação da "Cerca Velha" com identificação dos locais amostrados. A identificação das amostras, tipologia, localização, unidade estratigráfica e período histórico construtivo são apresentados na tabela 1.

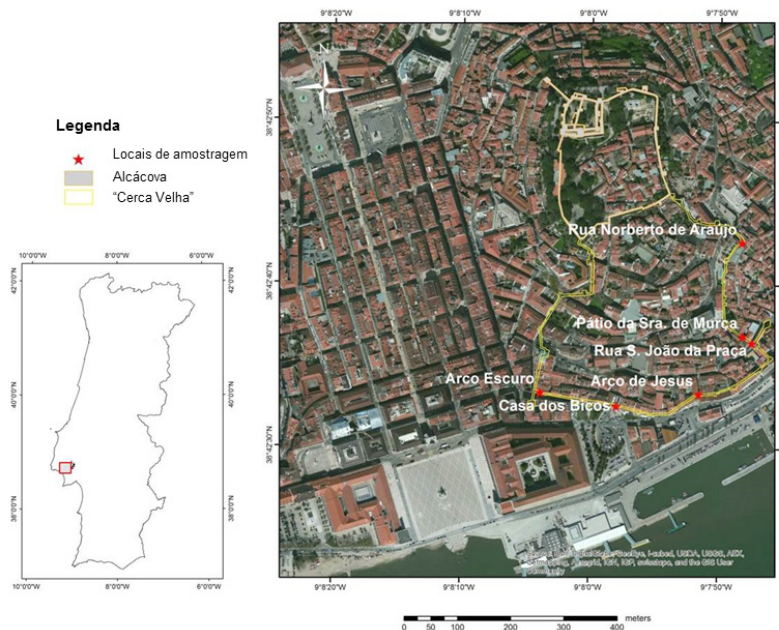


Figura 1-Traçado da "Alcáçova" e da "Cerca Velha" (adaptado de Silva, 1939) com localização dos locais amostrados.

Tabela 1- Identificação e características das amostras

Amostra	Tipologia	Localização	Unidade Estratigráfica	Período Histórico
AE1	Argamassa de cal (interior)	Arco Escuro	UE15	Tardo-romano
AE2	Argamassa de cal (junta)	Arco Escuro	UE50	Tardo-romano
CDB1	Argamassa de cal (interior)	Casa dos Bicos	UE20	Tardo-romano
CDB2	Argamassa de cal (interior)	Casa dos Bicos	UE20	Tardo-romano
CDB3	Argamassa de terra (junta)	Casa dos Bicos	UE380	Tardo-romano
CDB4	Argamassa de terra (junta)	Casa dos Bicos	UE381	Tardo-romano
ADJ1	Argamassa de cal (embasamento)	Arco de Jesus	UE47	Tardo-romano
ADJ2	Argamassa de cal (interior)	Arco de Jesus	UE32	Tardo-romano
SJP1	Argamassa de cal (embasamento)	S. João da Praça	UE79	Tardo-romano
SJP2	Argamassa de cal (junta)	S. João da Praça	UE140	Tardo-romano
PSM1	Argamassa de cal (embasamento)	Pátio Sra. Murça	UE81	Tardo-romano
PSM2	Argamassa de cal (junta)	Pátio Sra. Murça	UE80	Tardo-romano
RNA1	Argamassa de cal (embasamento)	R. Norberto Araújo	UE228	Alto-Imperial

3.2. Caracterização

A metodologia de caracterização utilizada envolveu o exame macroscópico e microestrutural das amostras, a análise granulométrica e mineralógica do agregado, a análise química de alguns componentes das pastas, absorção capilar e a resistência à compressão das argamassas. A análise mineralógica foi obtida por difracção de raios X (DRX), usando a radiação $\text{CoK}\alpha$ com filtro de Fe com uma velocidade de varrimento $0,05^\circ/\text{s}$ entre 3° a $74^\circ 2\theta$. Para DRX foram analisadas dois tipos de fracções: uma fracção correspondente à argamassa tal qual (fracção global) e obtida por moagem após desagregação da argamassa, e uma fracção designada de fracção fina, enriquecida em ligante, e obtida a partir do material fino desagregado e de granulometria inferior a $0,106\text{ mm}$. A fracção global de cada amostra foi também utilizada para a análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG-ATD) e química (via húmida por digestão em ácido clorídrico ou nítrico). A ATG-ATD foi realizada sob uma atmosfera de argon, a uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ desde a temperatura ambiente até 1000°C . As análises térmica e química foram realizadas para determinar a razão

agregado/ligante (traço) suportadas por análises petrográficas modais. Para petrografia, prepararam-se lâminas delgadas, que foram obtidas após a impregnação das argamassas sob vácuo com uma resina epóxi, desbastadas e polidas com abrasivos próprios. A distribuição do tamanho das partículas dos agregados foi obtida a partir da separação por peneiração do resíduo insolúvel após ataque ácido (HCl a 14%). Uma vez que as amostras apresentavam um conteúdo elevado de conchas de bivalves, a digestão ácida foi realizada em etapas faseadas para minimizar o ataque dos agregados carbonatados. Para a análise química dos componentes do ligante, efetuou-se o ataque com ácido nítrico diluído (1:10) a quente. Na fracção solúvel foi avaliado o teor de álcalis (expresso em termos de óxidos de sódio e potássio) por espectrofotometria de absorção atómica, de cloretos por potenciometria e de sulfatos e sílica solúvel por gravimetria. O resíduo insolúvel foi pesado e peneirado para determinar a distribuição granulométrica dos agregados. As observações da microestrutura foram efetuadas em superfícies recém-fraturadas por microscopia eletrónica de

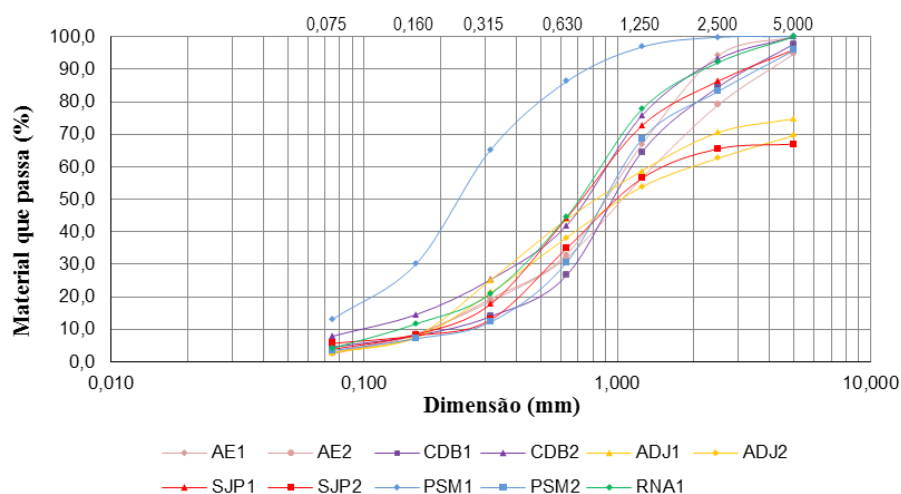


Fig. 2 Distribuição granulométrica do agregado das amostras analisadas

varrimento (MEV) com análise elementar através de um espectrómetro de raios X por dispersão de energias (EDS). Para avaliar o comportamento à absorção de água por capilaridade (Veiga et al 2004), a face externa de um fragmento plano da amostra foi colocada em contacto com água utilizando um recipiente constituído por um cesto de arame e gaze geotêxtil. A amostra foi pesada periodicamente para determinar o ganho de água ao longo de 24 h. Para o ensaio de resistência à compressão, as amostras foram confinadas com uma argamassa que permitiu obter uma forma regular e necessária para a adaptação ao equipamento de compressão utilizado segundo a norma EN 1015-11 (European Committee of Standardization - CEN, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição granulométrica dos agregados

A fig. 2 apresenta a distribuição granulométrica dos agregados das amostras estudadas. As amostras de argamassas de terra foram excluídas, uma vez que não podiam ser comparadas tipologicamente com as restantes. Estas, aliás, foram exclusivamente estudadas do ponto de vista mineralógico, com vista a conhecer a natureza dos seus constituintes.

A análise granulométrica evidenciou que a fracção predominante na maioria das amostras está situada entre 1,25 mm e 0,630 mm. Globalmente mais de 55% dos agregados estão situados nas classes granulométricas que correspondem dimensionalmente a areias grosseiras e balastros.

4.2 Composição mineralógica e análise petrográfica

Os resultados de DRX mostram que as argamassas são essencialmente constituídas por quartzo e calcite, com uma sobreposição da calcite em relação ao quartzo na fracção fina, sugerindo a utilização de cal aérea de composição calcítica como ligante. As amostras CDB3 e CDB4 (argamassas de terra) não apresentam compostos carbonatados, enquanto nas amostras ADJ1 e AE1 foi identificada a presença de montmorilonite. A caracterização petrográfica (Fig. 3) demonstrou aspetos texturais semelhantes entre as amostras, com ocorrência de agregados siliciosos distribuídos de forma homogénea e conchas carbonatadas roladas, essencialmente de bivalves, além de nódulos de cal e fragmentos cerâmicos sub-rolados, substâncias de neoformação maioritariamente associadas a agregados alterados e uma

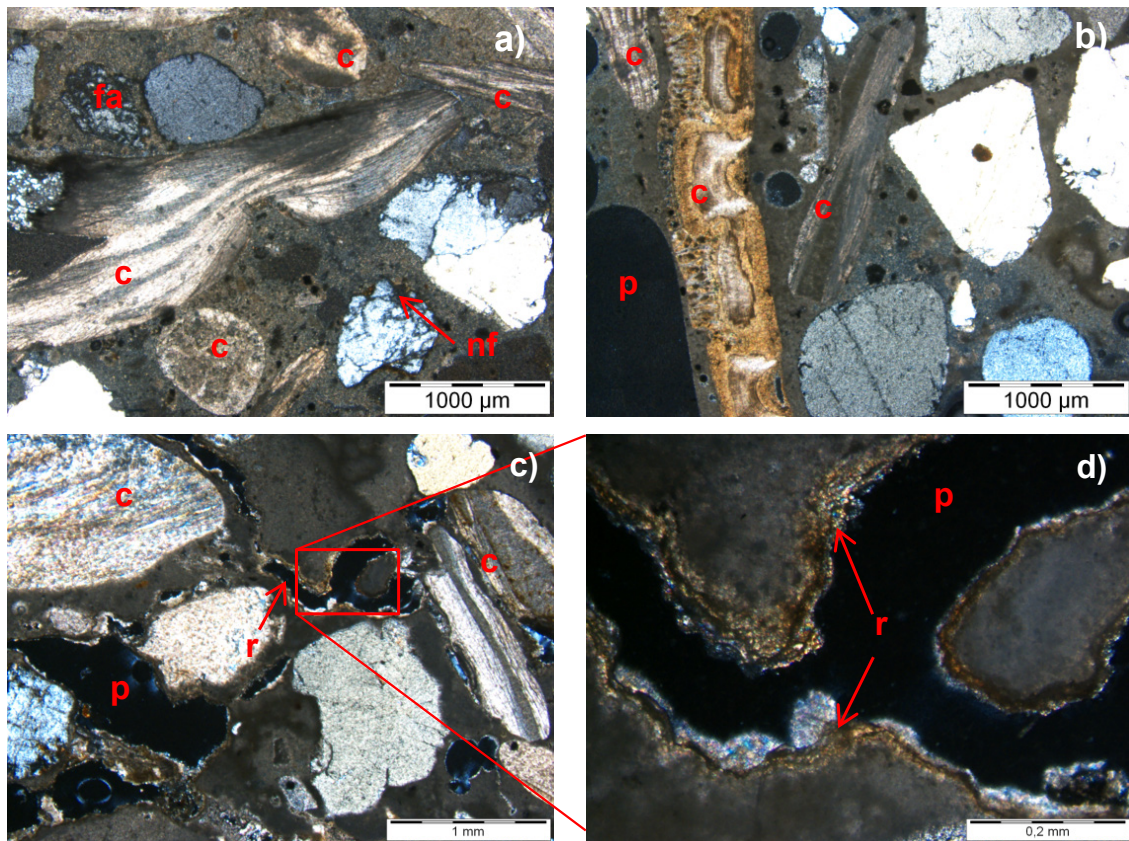


Figura 3- Aspectos petrográficos da amostra CDB1 em nicóis cruzados: c – Concha; fa – feldspato alcalino; q – quartzo; p – poro; nf – compostos de neoformação; r – fase de recristalização.

recorrente precipitação de carbonatos nos bordos dos poros e microfissuras. Da análise modal por contagem de pontos ao microscópio petrográfico foi possível estimar as frequências relativas dos principais constituintes mineralógicos das argamassas, produzindo um acréscimo de rigor no cálculo do traço. A presença de conchas de bivalves, bem como o grau de arredondamento dos agregados sugere que o ambiente fluvio-estuarino fosse uma das fontes de matérias-primas, o que seria de esperar dada a proximidade da zona de implantação da muralha com os sedimentos aluviais.

4.3 Análise térmica e química

Os termogramas obtidos são típicos de argamassas de ligantes aéreos calcínicos, com uma considerável perda de massa no intervalo de temperaturas entre 600° C e 850° C. De salientar os valores elevados de perda de massa na gama entre 25 e 120 ° C para as amostras AE1 e ADJ1, que se atribui à presença de montmorilonite. As baixas concentrações em sílica solúvel e em álcalis indicam que não foram utilizados ligantes hidráulicos. No entanto, a maior concentração de álcalis e sais obtida nas amostras CDB1 e CDB2, deverá estar associada à contaminação induzida

por uma laje moderna de betão que cobria o topo da estrutura tardo-romana.

4.4 Caracterização física e mecânica

As amostras AE1, CDB1, ADJ2 e PSM1 evidenciaram velocidades de absorção de água por capilaridade compatíveis com os resultados de argamassas antigas em bom estado de conservação (Veiga et al 2004). O pior comportamento foi registado pela amostra ADJ1. Esta amostra possui, por outro lado, a mais elevada resistência à compressão ($1,61 \text{ Nmm}^{-2}$), refletindo uma provável ocorrência de componentes hidráulicos de neoformação. Em oposição, a amostra CDB2 possui uma baixa resistência à compressão causada pela presença combinada de sulfatos e de álcalis. A amostra ADJ2 mostrou ser aquela que se encontra em pior estado de conservação, uma vez que apresentou uma baixa resistência à compressão ($0,46 \text{ Nmm}^{-2}$) e absorção de água elevada após 24 horas.

4.5 Análise microestrutural

As características mais notáveis que se destacam através da análise por MEV/EDS são a presença de silicatos de alumínio e de cálcio presentes nas

interfaces agregado/ligante, assim como depósitos de carbonato de cálcio revestindo os limites dos poros e microfissuras, indicando fenómenos de dissolução e conseqüente cristalização por processos de precipitação. A amostra ADJ1 apresenta estas ocorrências, o que parece explicar a sua elevada resistência mecânica à compressão. Outra característica observada diz respeito à composição elementar da matriz ligante, que apresenta quantidades elevadas de cálcio e carbono. Esta característica é consistente com a utilização de um ligante calcítico aéreo.

4.6 Composições simplificadas e traço das argamassas

As composições simplificadas (tabela 2) foram calculadas através do método proposto por Jedrzejewska, 1960. Este método combina o teor em carbonato de cálcio obtido por ATG com o teor do resíduo insolúvel obtido através da análise química. São, portanto, considerados três tipos de componentes: "carbonatos" (ligante), "fracção solúvel" (compostos solúveis em ácido sem formação de dióxido de carbono) e "agregados" (estimados por análise petrográfica modal,

Tabela 2- Composição simplificada e traço das argamassas

Amostra	Composição simplificada (% mássica)			Traço ⁽³⁾	
	Agregados siliciosos ⁽¹⁾	Agregados carbonatados	Ligante calcítico	Fracção solúvel ⁽²⁾	
AE1	39	20	36	5	1,5 : 0,7 : 1,0
AE2	41	12	44	2	1,2 : 0,4 : 1,0
CDB1	42	23	31	5	1,8 : 1,0 : 1,0
CDB2	41	32	22	4	2,5 : 2,0 : 1,0
ADJ1	69	7	17	7	5,6 : 0,6 : 1,0
ADJ2	53	24	19	4	3,9 : 1,8 : 1,0
SJP1	50	2	44	5	1,6 : 0,1 : 1,0
SJP2	43	42	12	4	5,0 : 4,9 : 1,0
PSM1	52	6	38	4	1,8 : 0,2 : 1,0
PSM2	58	7	30	6	2,6 : 0,3 : 1,0
RNA1	61	5	29	5	2,9 : 0,2 : 1,0

(1) Inclui fragmentos cerâmicos; (2) Fração Solúvel = $100 - \Sigma$ (Agregados); (3) Relação ponderal agregados siliciosos : agregados carbonatados : cal hidratada

convertendo o volume ocupado pelos constituintes em percentagem mássica). Para o cálculo do traço das argamassas a calcite foi convertida em portlandite, de modo a obter o conteúdo em cal hidratada.

5. CONCLUSÕES

A ausência de ligantes hidráulicos e de carbonatos magnesianos na pasta de ligante é consistente com a utilização de cal aérea calcítica no fabrico de todas as argamassas, com exceção das argamassas de terra CDB3 e CDB4. O baixo teor em cloretos e sulfatos é compatível com a utilização de areias de ambientes de transição fluvio-estuarinos, com concentrações de sais baixas a intermédias. Esta evidência é também corroborada pelas observações composicionais e morfológicas dos agregados. A proximidade da muralha com a margem fluvial do Rio Tejo sugere que os sedimentos aluvionares tenham sido privilegiados na utilização dos agregados. A cal, no entanto, deverá ter tido origem em calcários mais puros, com fracções detríticas inferiores aos calcários miocénicos que marcam presença na área de implantação da muralha. Assim, propõe-se que a fonte de extracção dos calcários tenha sido afastada da zona de construção da estrutura defensiva. A amostra RNA1 (argamassa de cronologia alto-imperial) não apresenta propriedades composicionais distintivas das restantes amostras de cronologia tardo-romana, pelo que se levanta a questão se as técnicas construtivas se terão alterado durante aquele intervalo de tempo. Os traços das argamassas, a granulometria dos agregados e a microestrutura não permitem estabelecer uma relação unívoca entre características tipológicas e funcionais das argamassas aplicadas a cada estrutura. Por este motivo não é possível afirmar, por exemplo, que todas as argamassas dos embasamentos (ou de outra zona da muralha) possuam características iguais entre si ou diferentes entre as outras, nas demais funcionalidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Arqueologia de Lisboa, em particular aos arqueólogos Manuela Leitão e Vasco Leitão, pela cedência de elementos e estreita colaboração, fundamentais à persecução dos objectivos alcançados neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- Carvalhinhos M. & Mota N. 2013. *Intervenção arqueológica urbana na Rua Norberto de Araújo, 21-29 (São Miguel, Lisboa)*. (NA 21 - 29) *Relatório final*. Centro de Arqueologia de Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa.
- Almeida F.M. 1986. *Carta Geológica do Concelho de Lisboa e Notícia Explicativa da Carta Geológica do Concelho de Lisboa*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Silva A.V. 1939. *A Cerca Moura de Lisboa*. Lisboa. Câmara Municipal.
- Veiga M.R., Magalhães A.C. & Bokan-Bosilikov V. 2004. «Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results". *13th International Brick and Block Masonry Conference*. Amsterdam. Ed. LNEC. Lisboa.
- European Committee of Standardization - CEN, 1999. *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened rendering mortar*, Brussels, EN 1015-11.
- Jedrzejewska H., 1960. *Old mortars in Poland: a new method of investigation*. *Studies in Conservation* 5, 132-138.

MARMORA LUSITANA EN LA BÉTICA ROMANA**LUSITANA MARMORA IN ROMAN BÉTICA****R. Taylor***

Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla, Grupo de I+D HUM 402 del P.A.I.

E. Ontiveros**

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

M^a.L. Loza***

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

J. Beltrán****

Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla, Grupo de I+D HUM 402 del P.A.I.

RESUMEN

Hacia finales de los años 1970, en los inicios de la línea de investigación sobre *marmora* -entendidos como rocas ornamentales en un sentido amplio- de interés histórico arqueológico en la Península Ibérica, son varios los distritos de canteras portuguesas que se encuentran incluidos en los listados de áreas fuente explotados en época romana. A lo largo de las últimas décadas y con un impulso renovado en años recientes, coincidiendo con la aplicación más frecuente de métodos de análisis arqueométricos que permiten identificar con mayores garantías las procedencias de los materiales arqueológicos analizados, se han ido conociendo diversos aspectos de la distribución y uso de los *marmora Lusitana* en diferentes contextos de la geografía hispana. La bibliografía de referencia de las últimas décadas ha fomentado la impresión de la presencia habitual de los *marmora Lusitana* en la Bética y la difusión de una serie de propuestas sobre los mecanismos de distribución y los patrones de uso de estos materiales en nuestra zona de estudio. La revisión detallada de la base empírica disponible obliga, sin embargo, a destacar el número muy bajo de identificaciones individuales documentadas y la imprecisión de las propuestas previas de reconstrucción histórica de los patrones de distribución y uso de los *marmora Lusitana* en la *provincia Baetica*.

* ruth.taylor@hotmail.com

**esther.ontiveros@juntadeandalucia.es

ABSTRACT

Towards the end of the 1970s, at the beginning of the line of research on *marmora* - understood as ornamental rocks in a broad sense - of historical archaeological interest in the Iberian Peninsula, several districts of Portuguese quarries are included in the listings of source areas exploited in Roman times. Over the last decades and with a renewed impetus in recent years, coinciding with the more frequent application of archaeometric methods of analysis that allow greater identification of the provenances of the archaeological materials analyzed, various aspects of the distribution and use of the *marmora lusitana* in different contexts of Hispanic geography. The bibliography of reference of the last decades has promoted the impression of the habitual presence of the *marmora lusitana* in the Betic and the diffusion of a series of proposals on the mechanisms of distribution and the patterns of use of these materials in our area of study. The detailed review of the available empirical basis, however, makes it necessary to highlight the very low number of individual identifications documented and the imprecision of the previous proposals of historical reconstruction of the patterns of distribution and use of the *marmora lusitana* in the *provincia Baetica*. The review and new analyzes of marble materials from Lusitanian origin documented

*** marial.loza@juntadeandalucia.es

**** jbeltran@us.es

La revisión y los nuevos análisis de los materiales marmóreos de procedencia lusitana documentados en la actual Andalucía Occidental permiten observar la presencia de mármol del Anticlinal de Estremoz (Distrito de Évora), de caliza fosilífera de Sintra (Distrito de Lisboa) y, en menor medida, de mármoles de Trigaches (Distrito de Beja) y Viana do Alentejo (Distrito de Évora). El análisis de las informaciones arqueológicas asociadas a estos materiales permite profundizar en la reconstrucción histórica de los circuitos comerciales entre la Lusitania y la Bética occidental romanas. Los progresos en la identificación analítica de los diferentes *marmora* portugueses permiten, de manera especial, confirmar la importancia suprarregional de estos materiales, pero también subrayar las necesidades de análisis futuros que planteen sus mecanismos de distribución y sus patrones de uso, que ilustramos en este trabajo mediante una serie de casos de estudio arqueométricos recientes.

Palabras clave: *marmora*, Lusitania, Baetica, época romana, distribución suprarregional.

INTRODUCCIÓN

La línea de investigación arqueológica y arqueométrica sobre la explotación y uso de mármoles y *marmora* -entendidos como rocas ornamentales en un sentido amplio- en época romana se desarrolla en la Península Ibérica desde finales de la década de 1970 (Braemer 1971; Canto 1977-78; Grünhagen 1978; Tavares 1977; Alarçãõ & Tavares 1988; Cisneros 1988). El nuevo impulso de esta línea desde mediados de la década de 2000 se refleja en un notable volumen de trabajos recientes dedicados, por una parte, a la caracterización de los diversos materiales pétreos explotados en época romana en la geografía peninsular y, por otra parte, a la identificación de estos materiales en piezas y contextos arqueológicos. Nuestros propios trabajos se enmarcan dentro de dos proyectos de I+D+i sucesivos (2010-2012 y 2014-2016) centrados de

in the present Occidental Andalusia show the presence of marble from the Anticlinal of Estremoz (Évora District), from the fossiliferous limestone of Sintra (Lisbon District) and, to a lesser extent, of marbles of Trigaches (District of Beja) and Viana of Alentejo (District of Évora). The analysis of the archaeological information associated to these materials allows to deepen in the historical reconstruction of the commercial circuits between the Roman Lusitania and the Western Bética. The progress in the analytical identification of the different Portuguese *marmora* makes it possible, in particular, to confirm the suprarregional importance of these materials, but also to emphasize the future analysis needs of their distribution mechanisms and their use patterns, which we illustrate in this work through a series of recent archaeometric case studies.

Key words: *marmora*, Lusitania, Baetica, Roman epoch, suprarregional distribution.

forma específica en la explotación de los *marmora* surpeninsulares en época romana y el estudio de los patrones de uso de los materiales regionales, suprarregionales y extrapeninsulares en la *provincia Baetica*¹. En la actualidad, uno de los ejes principales de nuestras actividades es la sistematización de los datos históricos, arqueológicos, geológicos y arqueométricos disponibles sobre la

¹ Este trabajo se enmarca dentro de las actividades del Proyecto *Marmora. Innovaciones en el estudio arqueológico y arqueométrico del uso de los marmora en la Baetica: Arquitectura, Escultura, Epigrafía* (HAR2013-42078-P, 2014-2016), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y desarrollado desde el Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, bajo la dirección de J. Beltrán Fortes. Un proyecto anterior, *Marmora de la Hispania meridional. Análisis de su explotación, comercio y uso en época romana* (HAR2009-11438, 2010-2012), sentó las bases empíricas de muchas de las observaciones formuladas en el presente artículo.

explotación y el uso de los mármoles y *marmora* de la Bética. De esta manera, venimos dando forma a una base de datos vertebrada, por una parte, por la información arqueológica de las piezas analizadas (sus características formales, tipológicas, cronológicas y contextuales) y, por otra parte, por la información sobre la procedencia geológica de las materias primas documentadas. Esta base de datos, que incluye datos publicados por otros investigadores y datos propios, frutos de los proyectos citados anteriormente, reúne un gran volumen de información hasta ahora dispersa y poco a poco nos está llevando a esbozar nuevas visiones de conjunto de los patrones propios de cada zona productora, cada material de referencia y cada contexto de consumo dentro de nuestra zona de estudio. La presente contribución viene motivada, fundamentalmente, por la observación de una discrepancia entre la base empírica disponible y las reconstrucciones históricas vigentes para el caso concreto de los *marmora Lusitana* en la *provincia Baetica* romana. En efecto, la bibliografía de referencia ha fomentado la impresión de la presencia habitual de los *marmora* lusitanos en la Bética y la aceptación de una serie de propuestas (desde Braemer 1986 y Cisneros 1988) sobre los mecanismos de difusión y los patrones de uso de estos materiales. La revisión detallada de la base empírica disponible obliga, sin embargo, a destacar el número muy bajo de identificaciones individuales documentadas y la imprecisión de muchas de las propuestas de reconstrucción histórica existentes para los patrones de distribución y uso de estos materiales en nuestra zona de estudio. Nuestro propósito con este trabajo es, en consecuencia, proporcionar una revisión, un estado de la cuestión y una base para trabajos futuros.

MARMORA LUSITANA EN LA PROVINCIA BAETICA: CASOS DE ESTUDIO

En las últimas décadas, el listado de variedades pétreas explotadas en la *Hispania* romana se ha ido consolidando en la bibliografía específica. La riqueza geológica del territorio pudo haber

permitido la explotación de otros muchos recursos, pero a día de hoy la lista de áreas fuente lusitanas de reconocido uso en época romana es muy corta. Los trabajos arqueométricos -también geológicos y arqueológicos- se han centrado fundamentalmente sobre los mármoles del Anticlinal de Estremoz (Alarçãõ & Tavares 1988; Álvarez *et al* 1998; Cabral *et al* 1992; Cabral *et al* 2001; Carneiro 2013; Lapuente 1995; Lapuente & Blanc 2002; Lapuente *et al* 2000; Lapuente *et al* 2014; Lopes *et al* 2000; Maciel 1998; Taelman *et al* 2012, 2013), mientras que menor atención ha sido prestada a los mármoles de Viana do Alentejo (Distrito de Évora) (Álvarez *et al* 1998; Carvalhosa 1971; Lapuente *et al* 2000; Morbidelli *et al* 2007) y de Trigaches (Distrito de Beja) (Encarnação 1984; Mañas & Fusco 2008). Para nosotros, estas zonas de mármol *sensu stricto* son de gran interés dado que pertenecen al mismo dominio geológico que la Banda Metamórfica de Aracena en la cual hemos trabajado muy intensamente en los últimos años, especialmente en el sector de Almadén de la Plata, en la Sierra Norte de Sevilla (Ontiveros *et al* 2012; Rodríguez *et al* 2012; Taylor 2015). A estas zonas de mármoles en el sentido geológico hay que sumar los trabajos recientes sobre las calizas fosilíferas denominadas "de Sintra" (Distrito de Lisboa) (Coelho 2002, 2008; Fusco & Mañas 2006). Cada una de estas áreas fuente posee un perfil arqueológico y un estado de conocimiento propio en los cuales no podemos ahondar aquí, y materiales de estas cuatro zonas lusitanas han sido identificados en piezas arqueológicas de época romana en la Bética. De esta manera, y con base en los datos disponibles en la actualidad, se puede definir una serie de casos de estudio arqueológicos, con casuísticas propias en cada caso, que ilustran diferentes patrones de uso de los *marmora Lusitana* en la *provincia Baetica*. Los casos de estudio presentados a continuación pertenecen a las ciudades de *Italica*, *Hispalis*, *Ilipa Magna* (actual provincia de Sevilla), a la actual provincia de Huelva y a la zona costera de la provincia de Cádiz.

ITALICA

La ciudad romana de *Italica* (Santiponce, Sevilla) ha proporcionado un amplio conjunto de mármoles y *marmora* del mayor interés, en un sinfín de formatos, tipologías y contextos de uso, cuyo estudio, paulatino -hay que decirlo-, ha ido y sigue desvelando diversos aspectos de los patrones de abastecimiento y uso del mármol en la ciudad a lo largo de su evolución histórica, urbanística y social, en la que sobresale especialmente la época del reinado de Adriano, cuando se amplía el perímetro de la ciudad y se construyen importantes edificios públicos como fruto del evergetismo imperial (Beltrán 2013). La presencia de mármoles lusitanos en *Italica*, con base en los datos disponibles, se puede caracterizar como muy discreta. Mármoles del Anticlinal de Estremoz se documentan en piezas arquitectónicas de gran porte: fustes y capiteles y en algunas esculturas privadas (León 1995; Mayer & Rodà 1998; Rodà 1997). Por otra parte, se ha propuesto la identificación de caliza de Sintra en dos pavimentos de *opus sectile*, pero sin indicar el volumen o el papel de este litotipo en la composición (Mañas 2012; Mañas & Fusco 2008). Esta identificación, por otra parte, plantea cuestiones de interpretación, en el caso de que los módulos que componen estos *sectilia* -creados por lo demás en *marmora* mediterráneos-correspondiesen a productos elaborados importados (Gutiérrez 2006). También se ha documentado sólo en una ocasión el mármol de Estremoz en uno de los mosaicos de *opus sectile* de la casa de la Exedra (Becerra 2015). La llegada de un volumen limitado de mármol lusitano a *Italica* puede resultar lógica, dadas las características excepcionales del sistema de abastecimiento de la ciudad con mármoles foráneos y la proximidad de las canteras de Almadén de la Plata. Pero precisamente por sus características, la ciudad de *Italica* habría tenido los medios necesarios para traer materiales lusitanos, tal vez en la forma de encargos específicos. Con base en los datos que manejamos en la actualidad, los

mármoles lusitanos serían mucho menos frecuentes en *Italica* que otras variedades regionales, como son el mármol de Mijas, la caliza marmórea de Alconera y la caliza de Tarifa, lo que se podría tomar como un reflejo de un sesgo territorial hacia los productos béticos.

HISPALIS

Muy cercana a *Italica* pero con una problemática arqueológica muy diferente, está la ciudad romana de *Hispalis*, la actual Sevilla, que se conoce de forma muy parcial. El caso de estudio más completo hasta la fecha corresponde a los materiales recuperados en las excavaciones de La Encarnación (Amores *et al* 2008). Otros trabajos en curso están analizando los conjuntos de mármoles recuperados en las excavaciones del Patio de Banderas (Tabales 2015) o de la calle Goyeneta (Rodríguez *et al* 2015), entre los cuales están presentes mármoles lusitanos, y que ayudarán sin duda a completar el conocimiento de los patrones de abastecimiento y uso de estos mármoles en diversos contextos y momentos de la ciudad romana. En La Encarnación (Amores *et al* 2008), mármoles del Anticlinal de Estremoz están documentados en placas de revestimiento, un fuste de pilastra, una basa ática y un fragmento de sarcófago. El mármol de Trigaches está empleado para un capitel asociado a un fuste de caliza morada de Alconera. Otro fuste de columna corresponde a caliza de Sintra. Un problema importante para la valoración de estas piezas es su cronología. Proceden de contextos tardíos (mediados del siglo IV d.C. - siglo V d.C.), en un sector de la ciudad urbanizado a partir del siglo I d.C. De esta manera, los elementos identificados podrían muy bien corresponder a la reutilización de elementos o a programas arquitectónicos anteriores, por lo que es complejo el uso de estos datos para la reconstrucción del posible faseado de explotación y distribución de los materiales lusitanos a la Bética. Resulta de interés en cualquier caso la identificación en este contexto de mármol de Trigaches.

ILIPA MAGNA

Con mayores posibilidades de datación que los casos anteriores, se conoce en *Ilipa Magna* la presencia de la misma caliza fosilífera de color rosácea ya documentada en *Italica* y *Hispalis*. La ciudad de *Ilipa Magna* fue señalada por Estrabón (III, 2, 3) como el punto hasta el cual podían llegar barcos de mediano calado, antes de tener que cambiar a barcas de rivera para seguir Guadalquivir arriba. En este contexto, ha sido identificado en un pavimento de *opus sectile* bicolor perteneciente a un edificio público (Rodríguez *et al* 2007, 2012). Este pavimento, fechado a inicios del siglo I d.C., es un ejemplo bastante temprano, que implicaría la puesta en funcionamiento de las canteras, el conocimiento adecuado de las técnicas de extracción y transformación de la piedra y la existencia de los medios de transporte y de los circuitos comerciales necesarios, en este caso, para su difusión a larga distancia. Coexisten además en este pavimento dos variedades. La primera, más homogénea y de mayor intensidad cromática, se puede identificar con la variedad comercial actual denominada 'Lioz', y se encuentra combinada con el mármol gris para componer los distintos módulos cuadrados (90 x 90 cm o 3 x 3 pies romanos) que conforman el *sectile*. La segunda, con venillas de tonalidad violácea, corresponde a la variedad 'Chainette', está empleada en las lastras rectangulares dispuestas en el perímetro del pavimento. El uso combinado de caliza rosácea de Sintra y mármol gris de Almadén de la Plata parece indicar la elaboración del *sectile* en un taller local, tal vez incluso en la propia *Ilipa Magna*. Este caso ilustra de esta manera una casuística muy diferente a la reflejada por la identificación de *lumachella carnina* en los *sectilia* de *Italica* (Gutiérrez 2006; Mañas 2012; Mañas & Fusco 2008), compuestos fundamentalmente por *marmora* foráneos, y en los cuales la identificación de material de Sintra plantea una serie de cuestiones para la interpretación del pavimento.

PROVINCIA DE HUELVA

Los datos disponibles para los territorios de la actual provincia de Huelva, es decir para el sector más occidental de la provincia Bética y la zona más cercana a las canteras lusitanas, aportan elementos de gran interés y han sido objeto de un estudio específico anterior (Beltrán *et al* 2015). El patrón de uso de los mármoles lusitanos en la Sierra de Huelva, ejemplificado por los materiales pertenecientes al nodo urbano *Arucci-Turobriga*, es de interés, ya que refleja obligatoriamente el transporte terrestre de estos materiales desde sus canteras de origen hasta sus lugares de uso. Por otra parte, se puede anotar el uso diferenciado de los tres litotipos lusitanos documentados. Los mármoles del Anticlinal de Estremoz para una posible antefija o flor de ábaco de reparación de un capitel corintio, un friso y un retrato privado, es decir tipologías de talla más delicada. El mármol de Viana do Alentejo para dos estelas funerarias gemelas, dedicadas a dos miembros de la misma familia y fechadas en el siglo II d.C.; y otro soporte epigráfico de grandes dimensiones. Y el mármol de Trigaches para piezas grandes, arquitectónicas (capiteles, cornisa) y funerarias (estelas). Estas piezas apoyan la existencia de una vía de penetración terrestre de los mármoles lusitanos del Anticlinal de Estremoz, Viana do Alentejo y Trigaches en la Sierra de Huelva, al menos hasta *Arucci-Turobriga* aunque no necesariamente de forma conjunta. Un poco más al Sur se encuentra la zona minera y aquí el patrón de uso de los mármoles lusitanos es muy distinto. En Riotinto, por ejemplo, se ha detectado la presencia exclusiva del mármol de Almadén de la Plata, mientras que una estatua thoracata de Tharsis sí ha sido identificada como mármol del Anticlinal de Estremoz. La situación diferente en estos dos núcleos del Andévalo, reconocidos ambos como zonas de explotación minera romana, es interesante, y la visión del territorio onubense ofrecida por Vidal & Campos (2008) proporciona una posible explicación: la pertenencia de Riotinto y Tharsis a distintas redes de comunicación. Mientras que Riotinto formaría parte de

redes de comunicación terrestres hacia el Norte (Sierras de Sevilla y Huelva), el Este (*Italica* y el Guadalquivir) y el Sur (la propia *Onoba* y las ciudades ubicadas en la vía hacia *Italica-Hispalis*), Tharsis formaría tan solo parte del 'bucle' desde la boca del Guadiana hasta *Onoba* (véase el Itinerario de Antonino). De este modo, Riotinto tendría mayor apertura hacia el Este, Tharsis hacia el Oeste. El estudio de las piezas arqueológicas muestreadas en el Museo de Huelva y procedentes de la zona costera de la provincia –*Onoba* (Huelva), *Ilipla* (Niebla), villa de Los Bojeos (Bonares)- proporciona datos muy escasos en relación con los mármoles lusitanos. Se documentan escasas piezas elaboradas en mármol del Anticlinal de Estremoz (piezas arquitectónicas) y de Trigaches (una pequeña escultura, interpretada como una cabeza de erote) (Beltrán *et al* 2015). La presencia de mármoles del Alentejo portugués en la Sierra de Huelva, por una parte, y en las ciudades marítimo-fluviales del Guadalquivir señaladas anteriormente, por otra, permite proponer dos posibles vías de difusión de los mármoles del interior portugués a la *Baetica*. Por tierra, correspondería a una vía terrestre (Beja-Serpa-Aroche), hasta Aroche. En esta zona los mármoles del Anticlinal de Estremoz, Viana do Alentejo y Trigaches entrarían en competición con los mármoles de la propia Aroche, y más hacia el Este, los de Fuenteheridos, Aracena, y finalmente Almadén de la Plata. Por mar, los mármoles portugueses podrían haber seguido el margen derecho del Guadiana (o el propio río desde Mértola) hasta la costa (Pérez *et al* 2013), desde donde podrían haber sido trasladados fácilmente a las ciudades portuarias, tanto las fluviales (*Hispalis*, *Italica*, *Ilipla*) como las costeras (véase el caso de *Baelo*, a continuación).

COSTA GADITANA

En la costa gaditana, el caso de *Baelo Claudia* ilustra muy bien la problemática antigua planteada por la diferenciación de determinadas variedades de mármol del Anticlinal de Estremoz y de Almadén de la Plata. La tradición de estudio del

yacimiento ha mostrado una preferencia por identificar una serie de piezas como elaboraciones en mármol portugués, mientras que trabajos más recientes se inclinan hacia los mármoles sevillanos. Ejemplo de esta problemática es la identificación de la estatua de Trajano de la basílica del foro (Álvarez *et al* 2013). Nuestros propios análisis (resultados preliminares presentados en el CIA de Castellón, Beltrán *et al* 2014) indicaron la presencia abundante de mármoles de Almadén de la Plata y la similitud petrográfica de tres muestras con variedades del Anticlinal de Estremoz. Las piezas en cuestión tienen características formales consistentes con elaboraciones importadas por lo que debemos mostrar mucha cautela con estas identificaciones. En cambio, son varios los bloques de tamaño notable y columnas identificados firmemente como caliza fosilífera de Sintra, procedentes de las termas y del foro de la ciudad. El escenario más probable es su llegada por mar, desde la Península de Lisboa hasta la costa gaditana. No se puede pasar por alto el interés del estudio de los *marmora* presentes en este contexto costero, que por su emplazamiento y sus conexiones marítimas podría haber recibido materiales de muy diversas procedencias. Y cabe recordar que las ciudades emplazadas próximas a la entonces desembocadura/ estuario del Guadalquivir en el *Lacus Lugustinus*, *Hispalis* e *Italica*, habrían mostrado características equiparables a las de las ciudades costeras. Estos centros receptores de materiales foráneos y distribuidores de materiales regionales no sólo compondrían los nodos de las redes de difusión hispanas, sino que constituirían asimismo puntos del mayor interés en los circuitos comerciales existentes entre el sur de la Península Ibérica y el Norte de África, donde mármoles del Anticlinal de Estremoz ya han sido identificados en *Volubilis* (Antonelli *et al* 2009).

CONCLUSIONES

Los mármoles del Anticlinal de Estremoz (Distrito de Évora) son los más comunes de los mármoles lusitanos en la Bética, pero

aun así se han identificado en un corto número de piezas que parecen haber llegado a la Bética a partir de mediados del siglo I d.C. Pertenecen a tipologías variadas: piezas arquitectónicas, algunas de gran tamaño, y piezas escultóricas. Estas piezas, de buena calidad en su factura, plantean el problema de su elaboración en talleres lusitanos (en origen) o béticos (en destino). A pesar de los importantes avances permitidos por el estudio interdisciplinar –arqueológico y geológico– de los materiales del Anticlinal de Estremoz, persisten en la bibliografía de referencia muchos de los modelos de distribución y uso arqueológico basados sobre identificaciones visuales o petrográficas pero con un marco comparativo limitado o incompleto (véase Cisneros 1988). Sobre estos modelos, I. Mañas anotó acertadamente que se deben tratar con cautela: “porque la dispersión es diferencial y el número de piezas de mármol de Estremoz en las ciudades más meridionales es muy reducido, por lo que quizá responda a encargos singulares a talleres escultóricos o epigráficos de Lusitania” (Mañas 2012: 337). Las tres piezas en mármol de Viana do Alentejo identificadas en la Sierra de Huelva (Beltrán *et al* 2015) constituyen una aportación de gran interés teniendo en cuenta los datos muy escasos para la confirmación arqueológicas del uso del mármol de esta zona en época romana. El carácter puntual de estas identificaciones obliga de momento a tratarlos como casos particulares, lo que sería coherente con la idea de un encargo específico, corroborado por la propia tipología de las piezas epigráficas identificadas. De momento no existe ningún dato que avale la distribución del mármol de Viana do Alentejo más allá de Aroche hacia la Bética y trabajos futuros tendrán que determinar con mayor detalle las características de su explotación y uso en época romana. El uso del mármol de Trigaches en el entorno de *Pax Iulia* está bien documentado desde el siglo I d.C. y el radio de difusión de estos materiales

ha sido considerado tradicionalmente como regional. Por ello, son de interés las identificaciones recientes de mármoles de Trigaches en la Bética occidental (Amores *et al* 2008; Beltrán *et al* 2015). Estas piezas siguen siendo muy escasas y corresponden a dos casuísticas: por una parte, un corto número de piezas en la Sierra de Huelva; por otra parte, hallazgos aislados en contextos costeros o perilitorales (*Onoba* y *Hispalis*). Esta situación podría reflejar dos rutas de distribución, mientras que *Hispalis* parece ser el punto de hallazgo más oriental de estos mármoles. La llegada de la caliza fosilífera rosácea de Sintra ha sido comprobada en *Hispalis*, *Italica*, *Ilipa Magna* y *Baelo Claudia*, con una fecha temprana de época de Augusto para su uso en *Ilipa Magna* (Rodríguez *et al* 2007). Son interesantes las tipologías y formatos documentados: fustes, lastras y placas. También sus contextos de uso públicos y privados. El emplazamiento de las canteras de caliza de Sintra y la llegada de sus productos a las varias de las ciudades portuarias de la *Baetica* indica, sin duda alguna, el transporte por mar desde un punto costero cercano a las canteras. Frente a la consideración de los *marmora Lusitana* como una unidad homogénea, los datos expuestos ilustran la necesidad de profundizar en las características histórico-arqueológicas propias de cada una de las zonas productoras y cada uno de los contextos de uso. Debido al número reducido de piezas individuales documentadas son todavía escasas las informaciones cronológicas, tipológicas y contextuales. De esta manera, los propios patrones de distribución diferencial de las distintas variedades lusitanas constituyen en estos momentos uno de los mejores reflejos de los posibles ejes de contacto entre los territorios lusitano y bético. Las piezas individuales documentadas se pueden lógicamente tomar como una indicación de un mayor volumen del mismo material no analizado, pero los datos disponibles imponen la necesidad de matizar la idea generalmente asumida de la presencia habitual de los *marmora lusitanos* en la

Bética. En la actualidad se están llevando a cabo nuevos estudios de los mármoles y *marmora* identificados en diversos contextos de la provincia *Baetica*, y una de las cuestiones que se considera como de mayor interés es la valoración volumétrica de la representación diferencial de los materiales regionales, suprarregionales y extrapeninsulares documentados. De esta manera, y después de una fase de consolidación de los trabajos de base arqueométrica sobre *marmora Hispana*, tenemos la capacidad de ofrecer nuevas lecturas e interpretaciones de los datos disponibles, fundamentales a su vez para guiar los trabajos en curso y el planteamiento de líneas futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcão, J. & Tavares, A. 1989. "A Roman marble quarry in Portugal". En Curtis, R.I. (Dir.) *Studia Pompeiana & Classica in honour of Wilhemina F. Jashemsky II Classica*: 1-12.
- Àlvarez, A., Mayer, M. & Rodà, I. 1998. "La aplicación del método de isótopos estables a mármoles explotados en época romana en la mitad sur de la Península Ibérica". *Archivo Español de Arqueología* 71: 103-112.
- Àlvarez, A., Darblade-Auboin, M.P. & Gutiérrez, A. 2013. "La statue de l'empereur Trajan. Étude pétrographique et stylistique". En Sillières, P. (ed.) *BELO IX: la basilique*. Collection de la Casa de Velázquez 136: 59-71.
- Amores, F., Beltrán, J. & González, D. 2008. "Marmora de Hispalis. Estudio de los Materiales Pétreos recuperados en las Excavaciones Arqueológicas de 'La Encarnación' (Sevilla)". En Nogales, T. & Beltrán, J. (eds.) *Marmora Hispana: Explotación y Uso de los Materiales Pétreos en la Hispania Romana*. Roma: 211-227.
- Antonelli, F., Lazzarini, L., Cancelliere, S. & Dessandier, D. 2009. "Volubilis (Meknes, Morocco): archaeometric study of the white and coloured marbles imported in the Roman age". *Journal of Cultural Heritage* 10: 11-123.
- Becerra, D. 2015. "Marmora en los opera sectilia italicenses". *Revista Itálica. Revista para la difusión de los jóvenes investigadores del Mundo Antiguo* 1, 2: 205-222 (=https://www.upo.es/revistas/index.php/italica/article/view/1746; consulta 11/2/2016).
- Beltrán, J. 2013. "Mármoles en la Bética durante el reinado de Adriano. El protagonismo de Itálica". En Hidalgo, R. & León, P. (eds.) *Roma, Tíbur, Baetica. Investigaciones adrianeas*. Sevilla: 225-250.
- Beltrán, J., Ontiveros, E., Loza, L., Rodríguez Gutiérrez, O & Taylor, R. 2014. "El uso del mármol en la ciudad romana de Baelo Claudia (Bolonía, Tarifa, Cádiz). Una aproximación desde la arqueometría". En *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría*: 226-239.
- Beltrán, J., Loza, L., Ontiveros, E., Pérez Macías, J. A., Rodríguez Gutiérrez, O. & Taylor, R. 2015. "Marbles of the Aracena Massif (Ossa Morena Zone, Spain): aspects of their exploitation and use in Roman times". En Pensabene, P. & Gasparini, E. (eds.) *ASMOSIA X*: 437-449.
- Braemer, F. 1971. "Les marbres à l'époque romaine". *Revue Archéologique*: 167-174.
- Braemer, F. 1986. "Répertoire des gisements de pierre ayant exporté leur production à l'époque romaine". En Braemer, F. (ed.) *Les ressources minérales et l'histoire de leur exploitation*. París: 287-328.
- Cabral, J.M.P., Maciel, M.J., Lopes, L., Lopes, J.M.C., Marques, A.P.V., Mustra, C.O. & Carreira, P.M. 2001. "Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz Anticline: its application in identifying the sources of Roman works of Art". *Journal of Iberian Archaeology* 3: 121-128.
- Cabral, J.M.P., Vieira, M.C.R., Carreira, P.M., Figueiredo, M.O., Pena, T.P. & Tavares, A. 1992. "Preliminary study on the isotopic and chemical characterisation of marbles from Alto Alentejo (Portugal)". En Maniatis, Y. et al (eds.) *ASMOSIA III*: 191-198.
- Canto, A.M. 1977-78. "Avances sobre la explotación del mármol en la España romana". *Archivo Español de Arqueología* 50-51: 165-188.
- Carneiro, A. 2013. "Um primer olhar sobre o povoamento romano no concelho de Vila Viçosa". *Callipole Revista de Cultura* 21: 211-232.
- Carvalhosa, A. 1971. "Estudo geológico-petrográfico da região de Viana do Alentejo-Alvito". *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal* 18: 7-56.
- Cisneros, M. 1988. *Mármoles hispanos. Su empleo en la España romana*. Zaragoza.
- Coelho, C. 2002. "Estudo preliminar da pedreira romana e outros vestígios identificados no sítio arqueológico de Colaride". *Revista Portuguesa de Arqueologia* 5 (2): 277-323.
- Coelho, C. 2008. "Colaride: a Roman quarry at the Municipium Olisiponensis". En Nogales, T. & Beltrán, J. (eds.) *Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana*. Roma. 523-543.
- Encarnação, J. 1984. *Inscrições romanas do Conventus Pacensis*. Coimbra.
- Fusco, A. & Mañas, I. 2006. *Mármoles de Lusitania*. Mérida.
- Grünhagen, W. 1978. Farbiger Marmor aus Munigua. *Madrider Mitteilungen* 19: 290-306.
- Gutiérrez, M. I. 2006. "Revisión de dos pavimentos de opus sectile de Itálica". *Romula* 5: 149-166.
- Lapuenta, P. 1995. "Mineralogical, petrographical and geochemical characterization of white marbles from Hispania". En Maniatis, Y. et al

- (eds.) *ASMOSIA III*: 151-160.
- Lapuente, P. & Blanc, P. 2002. "Marbles from Hispania: scientific approach base on cathodoluminescence". En Herrmann, J.J. *et al* (eds.) *ASMOSIA V*: 143-151.
- Lapuente, P., Turi, B. & Blanc, P. 2000. "Marbles from Roman Hispania: stable isotope and cathodoluminescence characterization". *Applied Geochemistry* 15: 1469-1493.
- Lapuente, P., Nogales, T., Royo, H. & Brillì, M. 2014. "White marble sculpture from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain): sources of local and imported marbles". *European Journal of Mineralogy* 26: 333-354.
- León, P. 1995. *Esculturas de Itálica*. Sevilla.
- Lopes, L., Carrilho Lopes, J., Cabral, J.P. & Sarantopoulos, P. 2000. "Caracterização petrográfica os monumentos romanos de Évora". *A cidade de Évora* 4: 129-142.
- Maciel, M.J. 1998. "Arte romana e pedreiras de mármore na Lusitania: novos caminhos de investigação". *Revista de Faculdade de Ciências Sociais e Humanas* 11: 233-245.
- Mañas, I. 2012. "Marmora de las canteras de Estremoz, Alconera y Sintra: su uso y difusión". En García-Entero, V. (coord.) *El marmor en Hispania: explotación, uso y difusión en época romana*. Madrid: 331-346.
- Mañas, I. & Fusco, A. 2008. "Canteras de Lusitania: un análisis arqueológico". En Nogales, T. & Beltrán, J. (eds.) *Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana*. Roma: 419-458.
- Mayer, M. & Rodà, I. 1998. "The use of marble and decorative stone in Roman Baetica". En Keay, S. (ed.) *The Archaeology of Early Roman Baetica*. *Journal of Roman Archaeology Supplementary Series* 29: 217-234.
- Morbidelli, P., Tucci, P., Imperatori, C., Polvorinos, A., Priete Martínez, M., Azzaro, E. & Hernández M.J. 2007. "Roman quarries of the Iberian peninsula: Anasol and Anasol-type". *European Journal of Mineralogy* 19: 125-135.
- Nogales, T. & Beltrán, J. (eds.) 2008. *Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana*. Roma.
- Ontiveros, E., Beltrán, J., Taylor, R., Rodríguez, O. & López, P. 2012. "Petrography and elemental geochemistry of the Roman quarries of Los Castillejos and Los Covachos (Almadén de la Plata, Sevilla, Spain). Outcrops and semi-elaborated products". En Gutiérrez, A. *et al* (eds.) *ASMOSIA IX*: 407-418.
- Pérez, J.A., González, D. & Rodríguez, M.J. 2013. "El fondeadero romano de Isla Moral y el comercio marítimo en la desembocadura del Guadiana". *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Historia Antigua* 26: 339-370.
- Rodà, I. 1997. "Los mármoles de Itálica. Su comercio y origen". En Caballos, A. & León, P. (eds.) *Itálica MMCC. Actas de las Jornadas del 2200 Aniversario de la Fundación de Itálica (Sevilla 8-11 Noviembre de 1994)*. Sevilla: 155-180.
- Rodríguez, O., Beltrán, J., López, P., Ontiveros, E. & Taylor, R. 2012. "The quarries of Almadén de la Plata (Seville, Spain): new data from the recent archaeological interventions". En Gutiérrez, A. *et al* (eds.) *ASMOSIA IX*: 645-650.
- Rodríguez, O., Mañas, I. & Ontiveros, E. 2012. "The opus sectile of the curia of Ilipa (Alcalá del Río, Sevilla). Considerations on the use of stone in public architecture from Roman Baetica". En Gutiérrez García-Moreno *et al* (eds.) *ASMOSIA IX*: 127-135.
- Rodríguez, O., Ontiveros, E., Loza, L., Taylor, R., Beltrán, J. & Rodríguez, A. 2015. "The value of marble: Contexts of reuse of architectural materials in Late Antique Sevilla (Goyeneta 17). Archaeological analysis and petrographic characterization". En *ASMOSIA XI: Abstracts*: 228.
- Rodríguez, O., Rodríguez, A. & Fernández, A. 2007. "Nuevos datos para la caracterización arqueológica de la vida municipal en la Bética: primeras notas en torno a un edificio público documentado en la antigua Ilipa (Alcalá del Río, Sevilla)". *Habis* 38: 225-247.
- Taelmen, D., Elburg, M., Smet, I., de Paepe, P., Vanhaecke, F. & Vermeulen, F. 2012. "White, veined marble from Roman Ammaia (Portugal): provenance and use". *Archaeometry* 55(3): 370-390.
- Taelman, D., Elburg, M., Smet, I., De Paepe, P., Lopes, L., Vanhaecke, F., & Vermeulen, F. 2013. "Roman marble from Lusitania: petrographic and geochemical characterization". *Journal of Archaeological Science* 40: 2227-2236.
- Tavares, A. 1977. "Matériaux de construction et de décoration". En Alarcão, J. & Étienne, R. (eds.) *Fouilles de Conimbriga. 1. L'architecture*. París: 271- 277.
- Tabales, M.A. (dir.). 2015. "Excavaciones arqueológicas en el patio de Banderas, Alcázar de Sevilla". *Memoria de Investigación 2009-2014*. Sevilla.
- Taylor, 2015. *Las canteras romanas de mármol de Almadén de la Plata (Sevilla, España): un análisis arqueométrico*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- Vidal, N. & Campos, J.M. 2008. "Relaciones costero-interior en el territorio onubense en época romana". *Mainake* 30: 271-287.

INVESTIGAÇÃO ARQUEOBOTÂNICA DOS SEDIMENTOS ARQUEOLÓGICOS DE PAÇO DOS LOBOS DA GAMA: UM ARRABALDE ISLÂMICO DA CIDADE DE ÉVORA (SÉCULOS XI-XII)

ARCHEOBOTANICAL RESEARCH OF THE ARCHAEOLOGICAL SEDIMENTS OF PAÇO DOS LOBOS DA GAMA: AN ISLAMIC SUBURB OF THE CITY OF ÉVORA (11TH-12TH CENTURIES)

Ginevra Coradeschi*

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Largo do Marquês de Marialva, n.º 8, 7000, Évora, Portugal
CHIDEUS, Centro Interdisciplinar de História, Culturas e sociedades, Largo do Marquês de Marialva, n.º 8, 7000, Évora, Portugal

Anne-France Mourer

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Largo do Marquês de Marialva, n.º 8, 7000, Évora, Portugal

José Rui Santos

CHIDEUS, Centro Interdisciplinar de História, Culturas e sociedades, Largo do Marquês de Marialva, n.º 8, 7000, Évora, Portugal
Câmara Municipal de Évora, Praça do Sertório, 7004-506 Évora, Portugal

Gonçalo Lopes**

Arqueólogo

Cristiano Vignola

Università 'La Sapienza', Piazzale Aldo Moro, n.º 5, 00185, Roma, Italy

Laura Sadori

Università 'La Sapienza', Piazzale Aldo Moro, n.º 5, 00185, Roma, Italy

Cristina Dias

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Largo do Marquês de Marialva, n.º 8, 7000, Évora, Portugal

RESUMO

O Paço dos Lobos da Gama é uma residência senhorial do século XVII, construída pela família Lobo da Gama. Situa-se sensivelmente a meio da Rua Serpa Pinto, em Évora. Entre 2008 e 2009 foi alvo de escavações arqueológicas de emergência que se concentraram principalmente no logradouro, atrás do imóvel. Em particular o sector 6 forneceu um conjunto importante de vestígios arqueológicos dos séculos I-II d.C. até ao final da Época Moderna, com especial destaque para o período islâmico. Os macrorestos vegetais, objeto deste estudo provêm exclusivamente de contextos islâmicos que, excetuando uma unidade estratigráfica, pertencem a estruturas negativas. Entre todas, destaca-se uma fossa séptica de onde provêm os sedimentos analisados que se revelaram particularmente ricos em sementes e frutos mineralizados, na maior parte pertencentes a árvores/arbustos de fruto. O estudo destina-se sobretudo à caracterização do uso e consumo de vegetais por parte desta comunidade entre o final do século XI e o princípio do século XII. São também relevantes os aspetos relacionados com a exploração e uso da madeira. As análises estão ainda a decorrer, pelo que serão aqui apresentados somente os resultados preliminares.

Palavras-chave: Arqueobotânica; Macrorestos vegetais; Dieta alimentar; al-Āndalus;

* ginevra@fa.uevora.pt

** g.simoelopes@gmail.com

ABSTRACT

Paço dos Lobos da Gama is a seventeenth-century manor house, built by the Lobos da Gama family. It's located in the city center of Évora in Rua Serpa Pinto. In 2008 the area was subjected to a rescue archaeological excavation, which continued during the following year. The interventions focused mainly on the backyard behind the property. The area 6 revealed an important set of archaeological remains dated from the 1st to 2nd centuries AD until the end of the Modern times, with special emphasis on the Islamic period. The plants macro remains, which are main subjects of this study, come exclusively from Islamic contexts. The archaeological contexts investigated, except for one unit, belong to negative structures. Among all, the septic tank was particularly rich in mineralized seeds and fruits, mostly belonging to fruit trees/shrubs. This study is intended to characterize the use and consumption of plant foods by the Islamic community living in the area. It also seeks to better understand the structural contexts in which the samples were collected. The aspects related to the exploitation of the wood resources, as well as those of the site, are also discussed. The study is still ongoing, and only some preliminary results are presented here.

Keywords: Archaeobotany, Plant macroremains, Diet, al-Āndalus;

INTRODUÇÃO

Para a Época Islâmica, a literatura geográfica e os tratados de agricultura, fornecem dados fundamentais sobre as práticas agrícolas e a alimentação das populações desta época. Existem muitas informações sobre o *al-Āndalus* das quais se espera que estudos mais específicos incidam sobre o *Gharb* (Gomez, 2013). De facto, apesar de as fontes escritas serem um importante testemunho para a investigação sobre as antigas sociedades, estas foram em grande medida o espelho das classes mais abastadas das comunidades. Daqui a importância do papel desenvolvido pela arqueobotânica que através do estudo dos vestígios vegetais, nos permite recolher informações sobre as diferentes plantas consumidas, o seu valor económico, e os processos de trabalho envolvidos na sua obtenção (Buxo & Piqué, 2008). O estudo dos macrorestos botânicos do Paço dos Lobos da Gama prevê a análise dos carvões, das sementes e dos frutos encontrados no sítio, em contextos islâmicos do final do século XI, princípio do XII. Este trabalho procura recolher informações sobre os alimentos vegetais consumidos pelos habitantes do que é hoje de Paço dos Lobos da Gama, tentando ligar os diferentes alimentos com as suas respetivas práticas de processamento, armazenagem e consumo. A agricultura, os aspetos relacionados com o cultivo direto, a seleção de espécies da flora natural ou a importação de plantas exóticas. Outro objetivo é uma melhor interpretação das estruturas onde foram recolhidos os sedimentos que continham os macrorestos vegetais. Por último salienta-se a importância de adicionar dados aos estudos arqueobotânicos pré-existentes no território, de forma a acrescentar mais uma peça a um "puzzle" ainda incompleto.

O SÍTIO ARQUEOLÓGICO

O Paço dos Lobos da Gama era uma residência senhorial construída nos inícios do século XVII ao lado do mosteiro de Santa Clara, em Évora, pela família Lobo da Gama. Estava localizada a meio da

rua Serpa Pinto, num dos mais importantes eixos viários da cidade, que faz a ligação entre a antiga porta de Alconchel e o ângulo noroeste da praça do Giraldo. Em 2008, em virtude das obras de reabilitação do edifício que visavam transformá-lo num condomínio privado, o espaço foi alvo de trabalhos arqueológicos que prosseguiram em três fases distintas condicionadas ao ritmo da obra. A intervenção arqueológica, conduzida pela empresa ARKEOHABILIS – Arqueologia e Paisagem Lda., incidiu principalmente no logradouro atrás do imóvel, que foi escavado em seis sectores distintos durante essas três fases. Na primeira fase foram escavados os sectores 1-3, na segunda, os sectores 4-5, por fim, na terceira fase, o sector 6 cujos trabalhos foram coordenados por Conceição Roque. O sector 6 ocupava a extremidade norte do logradouro e revelou um conjunto importante de vestígios arqueológicos, entre os quais as sementes, os frutos e os carvões de pequenas dimensões, objectos deste estudo, que vão dos séculos I-II d.C. até ao final da Época Moderna, com especial destaque para o período islâmico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os macrorestos vegetais estudados encontram-se conservados por combustão parcial e por mineralização, sendo provenientes exclusivamente das amostras de sedimento recolhidas no sector 6, em contextos islâmicos. Excetuando a estrutura correspondente a unidade estratigráfica (U.E.) [72] são ambientes contidos por estruturas negativas: fossa séptica, conduta de esgoto, silos e poço, correspondendo principalmente a estruturas de armazenamento, processamento e rejeição (Fig. 1). Da fossa séptica correspondente à (U.E.) [57], foram retiradas duas amostras (6 e 4 litros) de sedimento das unidades 65 e 66, que a preenchem. A (U.E.) [65] é uma camada intermédia e a (U.E.) [66] era um pequeno depósito argiloso que se encontrava no fundo da fossa sendo, provavelmente, a segunda acumulação sedimentar resultante do uso da mesma. Integrado nesta unidade apareceu um

candil de bico comprido, praticamente inteiro, que em termos cronológicos marcará o princípio do uso desta estrutura em meados/finais do século XI. A conduta de esgoto (U.E.) [73] era totalmente preenchida pela (U.E.) [74] da qual foi recolhida outra amostra (6 litros) de sedimento. Estava localizada junto ao canto nordeste do sector 6 e no seu interior foi recuperada uma pequena moeda de prata que aparenta ser um quirate cunhado em nome de *al-Mutawakkil*, rei da taifa de Badajoz entre 1073/79 – 1094. Dos dois silos (U.E.) [126] e (U.E.) [93] foram retiradas duas amostras (6 litros) de sedimento das unidades 117 e 92 respectivamente. O silo [93] estava cortado quase pela base e os poucos materiais recolhidos indiciam uma cronologia islâmica que não é possível precisar. O silo [126] por seu turno, bastante melhor conservado, continha materiais cerâmicos que oferecem uma cronologia entre os finais do século XI, princípios do século XII. Aqui apenas foi escavada a (U.E.) [117] porque a subida do lençol freático inviabilizou a normal prossecução dos trabalhos. A unidade 72 era uma camada que se estendia numa faixa, na margem este do sector 6. Daqui foi recolhida uma amostra de sedimento (4 litros) numa mancha individualizada que poderia corresponder aos restos de uma estrutura de combustão com alguma cinza e fragmentos de cerâmica pertencentes a um recipiente que podemos identificar como panela datável, *grosso modo*, do século XI. O poço (U.E.) [101], no canto noroeste do sector 6, não foi integralmente escavado por questões de logística e devido à subida do lençol freático. Por este motivo apenas se interveio numa camada inicial do seu enchimento (U.E.) [102], de onde provém a amostra de sedimento (6 litros) e a ponta de um fuso que poderá datar também de finais do século XI, princípio do XII. Uma larga quantidade de sedimento foi previamente tratado já durante a escavação arqueológica por crivagem a água, utilizando crivos com malha de 1mm e 0,5 mm. Este tratamento foi executado com a finalidade de recuperar

material arqueológico de pequenas dimensões, com especial atenção aos ossos de animais (Costa & Lopes, 2012). Num total de 38 litros de sedimento, 28 litros foram previamente tratados e só os restantes 10 litros foram escrutinados inteiramente em laboratório. O volume de cada amostra de sedimento foi medido novamente. Subsequentemente os sedimentos foram preliminarmente tratados através da técnica da flutuação manual. Posteriormente foi executada a crivagem em água da totalidade dos sedimentos que permaneceram no fundo (fração pesada) (Greig, 1989; Pearsall, 2000). Para os dois tratamentos foram utilizados crivos com malha de diâmetros de 4 mm, 2 mm, 0, 25 mm. A totalidade do material recolhido nos crivos foi deixado a secar dentro contentores com água destilada, no interior de uma estufa a uma temperatura de cerca 20 °C. A correta secagem dos macrorestos vegetais revela-se muito importante uma vez que o material húmido pode dar origem ao aparecimento de fungos ou tornar-se demasiado frágil, no caso de carvão (Fairbairn, 2005). Os materiais secos são analisados integralmente sob observação ao estereomicroscópio. Todas as sementes, os frutos e os fragmentos de madeira carbonizada com dimensões superiores a 3 mm são isolados e recolhidos de forma a se proceder à sua identificação e contagem. A identificação das sementes e dos frutos é realizada através da observação com estereomicroscópio, procedendo-se à sua identificação com auxílio de bibliografia de referência (Jacomet *et al.*, 2006; Cappers & Bekker, 2013; Cappers, Bekker & Jans, 2006; Berggren, 1981). No que respeita ao estudo de cariopses de cereais, é realizada uma identificação de base morfológica e não biométrica. Análises biométricas poderão ser utilizadas na caracterização e comparação de conjuntos carpológicos mas não para definição taxonómica. Os carvões são analisados através da observação de três secções diagnósticas: transversal, tangencial e radial, obtidas manualmente. A identificação

é possível mediante a observação das três secções dos carvões via microscópio óptico com luz reflectida, ao microscópio eletrónico de varrimento, com o auxílio de bibliografia e de material de referência (Shweingruber, 1990; Crivellaro & Schweingruber, 2013; InsideWood. 2004-onwards).

Resultados preliminares

Os resultados encontram-se sumarizados na tabela 1 e no gráfico 1 abaixo. Para permitir uma melhor leitura da tabela, os frutos e sementes são agrupados em: Plantas cultivadas (cereais, fragmentos de espiguetas, leguminosas, árvores e arbustos de fruto) e plantas silvestres.

Tabela 1: Resumo dos macrorestos vegetais identificados no Paço dos Lobos da Gama

	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS (UE)							TOTAL
	UE 65	UE 66	UE 72	UE 74	UE 92	UE 102	UE 117	
FRUTOS E SEMENTES								
PLANTAS CULTIVADAS								
(Cereais: grãos inteiros)								
<i>Hordeum vulgare</i>			1				1	2
<i>Triticum cf. aestivum durum</i>						1		1
<i>Avena sp.</i>			1					1
(Cereais: Frag. de espiguetas)								
Fragmento de ráquis			1					1
Colmo			1					1
(Leguminosas)								
<i>Cicer cf. arietinum</i>	1							1
(Árvores e arbustos de fruto)								
<i>Vitis vinifera</i>	467							467
<i>Ficus carica</i>	73		2			1		76
<i>Morus sp.</i>	8							8
<i>Prunus cf. dulcis</i> (fragmento)	1							1
<i>Cucumis sativus/melo</i>	1							1
PLANTAS SILVESTRES								
<i>Silene sp.</i>			1	1				2
<i>Silene gallica</i>						1		1
TOTAL	551	0	7	1	0	3	1	563
FRAGMENTOS CARVÃO								
<i>Quercus cf. suber</i>					75			75
<i>Erica cf. arborea</i>					35			35
<i>Arbutus unedo</i>					25			25
TOTAL					135			135

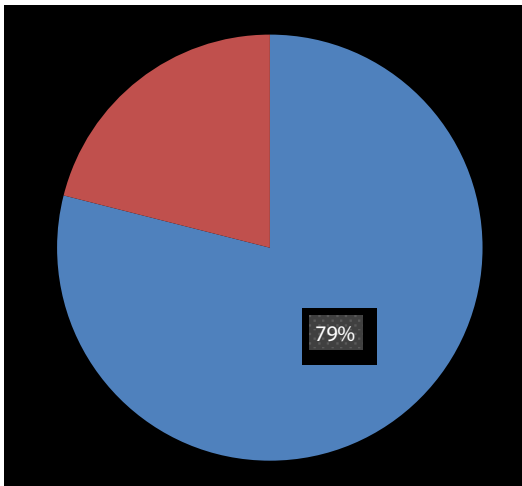


Gráfico 1: percentagens de macrorestos mineralizados e carbonizados identificados no conjunto carpológico do Paço dos Lobos da Gama

Em termos globais, o gráfico mostra que o conjunto arqueobotânico exumado é particularmente rico em macrorestos conservados por mineralização. Salienta-se que a sua totalidade provém exclusivamente de uma das unidades estratigráficas de enchimento da fossa séptica (UE 65), factor que poderá oferecer mais informações sobre esta estrutura quando as análises estiverem concluídas.

DISCUSSÃO

Tendo em consideração que a amostragem de sedimento por unidade estratigráfica foi parcial, devido a natureza da intervenção (de emergência) e as análises estão ainda a decorrer, acabamos por poder fazer apenas algumas observações. Um aspecto muito importante a salientar é de natureza metodológica; neste trabalho foram tratadas amostras que sofreram uma triagem prévia durante a escavação arqueológica onde foram utilizados crivos de tamanho superior ao 0.25 mm, perdendo-se uma parte significativa da informação que, eventualmente, poderia estar conservada. O conjunto identificado é algo heterogéneo e provém principalmente de contextos de armazenamento e descarte.

Trata-se de um conjunto de dados muito reduzido mas que reflecte parte dos recursos vegetais utilizados entre o final do século XI, princípio do XII, em particular no que se refere à alimentação e matérias-primas para construção e/ou lenha. Relativamente ao grupo carpológico analisado, estão representados até o momento os seguintes cereais: Cevada (*Hordeum vulgare*) (Fig.2 a); Trigo (*Triticum aestivum/durum*) e Aveia (*Avena* sp.) (Fig.2 b).

O alcance dos cereais na dieta alimentar das populações islâmicas do al-Ándalus é hoje em dia assumido pela comunidade científica como bastante representativo. Eram armazenados em silos (Catarino, 1997;1998) que, no caso das classes mais baixas seriam comunitários (García Baema, 2008). Os silos eram frequentemente tapados com mós reaproveitadas, que são mais um testemunho da importância de uma base cerealífera na dieta alimentar destas populações (Arruda, Viegas & Almeida, 2002). O valor dos cereais enquanto base da alimentação nesta época é bastante assinalada: "*Por causa dos cereais se perdem existências e riquezas e por ele mudam de dono as cidades e os homens. Quando não se produzem, vêm abaixo as fortunas e se degrada toda a organização social*" (Ibn Abdūn, 1981). A riqueza das informações nas fontes árabes (Ibn Abdūn, 1981; Ibn Luyūn, 1988) a assinalar o peso dos cereais na dieta destas populações é complementada por outros estudos arqueobotânicos feitos no território (Van Leeuwaarden, Queiroz & Ruas, 2000; Van Leeuwaarden & Queiroz 2001, 2003; Queiroz, 1999; 2001; Queiroz 2009^a, 2009^b; Queiroz & Mateus, 2014; Queiroz *et al.*, 2004). Atualmente a única leguminosa encontrada na colecção exumada no Paço dos Lobos de Gama é o grão-de-bico (*Cicer cf. arietinum*) (Fig.2 c), representado por um único exemplar bastante bem preservado. As referências documentais sobre o uso e o cultivo das leguminosas no al-Ándalus são também muito abundantes (Ibn Abdūn, 1981; Ibn Luyūn, 1988). As leguminosas e os

cereais integram-se de um ponto de vista nutricional, tendo as leguminosas um maior teor proteico e tornando os solos mais produtivos. O grão-de-bico, (*himmis*) era particularmente apreciado pelas comunidades do *andalusī*, podendo ser cozido com a adição de cominho e canela (calmante) ou, mais simplesmente, consumido cru com sal, pimenta e tomilho (García Baena, 2008). O consumo de frutos está bem documentado pelos numerosos restos de frutos e sementes mineralizados da fossa séptica (U.E.s 65 e 66). Este depósito resulta particularmente rico em restos de figo e de grainhas de uva. Foram identificados até o momento os seguintes frutos: uva (*Vitis vinifera*) (Fig.2 d); figo (*Ficus carica*) (Fig.2 e-f), amoras (*Morus* sp.) (Fig.2 g), amêndoa (*Prunus* cf. *dulcis*), possivelmente pepino ou melão (*Cucumis sativus/melo*). O papel dos frutos na alimentação do *al-Āndalus* é referido em numerosas fontes árabes, nomeadamente tratados de agricultura e de culinária. Sabe-se que o figo era um dos frutos mais apreciados e, tal como hoje, era consumido tanto fresco como seco (Leandro Martins, 2013). Podemos referir que o cultivo da vinha, podia ser directamente para o consumo das uvas ou, eventualmente, para o fabrico de vinho (bastante consumido, apesar da expressa proibição corânica) (Gomez, 2013). As uvas também podiam ser secas, transformadas em passas, método largamente utilizado para a sua conserva (*ibid*). As referências documentais sobre o cultivo da amoreira no Mundo Islâmico são também abundantes, remontando ao século X (San José, 1996) e, relativamente às amêndoas, temos informação de que estas eram utilizadas na doçaria, juntamente com o mel e as nozes (Gomez, 2013). A possível presença do melão, torna-se interessante devido às abundantes referências nas fontes islâmicas onde são referidas vários tipos deste fruto, cultivados no *al-Āndalus* (San José, 1996), mas também pelo paralelo que pode ser estabelecido com o outros estudos arqueobotânicos onde foram

encontradas vestígios deste fruto (Pais, 1996). Existem também várias referências à produção de pepinos, com diversas variedades cultivadas no Mundo Islâmico medieval (San José, 1996). Vale a pena referir os frutos atrás mencionados são ainda hoje consumidos do mesmo modo ou seja, frescos, transformados e em conserva, pelas populações actuais da bacia do Mediterrâneo (Bugalhão & Queiroz, 2005). É importante referir também que os excedentes poderiam ter um papel relevante na alimentação dos animais domésticos. Para além da referida importância dos frutos na alimentação *andalusī* citadas nas fontes documentais (tratados, calendários etc.), convém chamar à atenção para os dados obtidos pelos raros estudos arqueobotânicos já efetuados nesta área da Península Ibérica (Pais 1996; Van Leeuwen & Queiroz, 2000; 2001; Queiroz, 2001) que permitiram de aumentar o conhecimento sobre este aspecto da dieta destas populações e que representam uma fonte incontornável de comparação para estudos presentes ou futuros. Em particular os estudos arqueobotânicos do Núcleo Arqueológico dos Correiros, em Lisboa (Queiroz, 1999; Bugalhão & Queiroz, 2005) e do Convento de São Francisco de Santarém (Queiroz, 2001), que revelaram contextos particularmente ricos em restos de grainhas de uva e de aquênios de figo. Os dados recuperados nestes dois sítios apresentam uma grande similitude com os vestígios botânicos do enchimento na fossa séptica (U.E.s 65 e 66) do Paço dos Lobos da Gama, podendo, uma vez terminada a análise, oferecer dados importantes de contextualização e comparação. Salienta-se que no conjunto carpológico investigado foram isoladas e identificadas também algumas sementes de erva-cabaceira (*Silene gallica*) (Fig.2 h), a cuja presença é indicador de solos moderadamente secos. Esta espécie desenvolve-se muito bem em campos baldios e generalidade

é uma espécie invasora de algumas culturas como a aveia e o trigo. Por fim, é importante relatar que os poucos vestígios de espiguetas (Fig.2 i) encontrados no espectro carpológico analisado, provêm somente da U.E. 72 que é o único contexto associado a uma possível estrutura de combustão. A recuperação de uma panela em cerâmica associada à mesma unidade estratigráfica resulta de grande interesse no caso de futuras análises a traços orgânicos eventualmente preservados que poderão acrescentar dados de relevância. No que respeita aos poucos fragmentos de carvões analisados, temos indicação da utilização da madeira de sobreiro (*Quercus suber*) (Fig.3 a-b), de urze (*Erica cf. arborea*) e de medronheiro (*Arbutus unedo*) (Fig. 3 c-d). A madeira de sobreiro é dura e resistente e foi utilizada desde a Antiguidade como material de construção e oficial. Existem vários registos arqueobotânicos dessa utilização (Queiroz 2008; Queiroz, Oliveira & Pereira, 2005), assim como o seu uso enquanto combustível de grande poder calorífico. As madeiras de urze e de medronheiro são ambas bem conhecidas na utilização como lenha desde a Pré-História, também pela facilidade com que ateiam, ocorrendo em vários sítios arqueológicos portugueses de todas as cronologias (Queiroz, 2009c; 2010; 2012). O medronheiro foi igualmente apreciado pelos seus frutos, conforme o que é referido nas fontes árabes já mencionadas. É relativamente rara a conservação da suas bagas, geralmente por carbonização, pelo que só poderemos mencionar o seu consumo no Paço dos Lobos da Gama enquanto hipótese. Só a continuação das análises arqueobotânicas deste sítio poderá gerar uma leitura mais ampla das problemáticas aqui mencionadas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Doutor Diego Sabato pela importante ajuda nas identificações de alguns frutos e sementes do Paço dos Lobos de Gama.

BIBLIOGRAFIA

- Arruda, A. M., Viegas, C. & Almeida, M. J. 2002. «Actividades Económicas». In *De Sacallabis a Santarém* (pp. xxx-xxx), Instituto Português dos Museus, Lisboa;
- Berggren, G. 1981. *Atlas of seeds and small fruits of Northwest-European plant species with morphological descriptions*, Vol. 3. Salicaceae-Cruciferae. Swedish Museum of Natural History;
- Bugalhão, J., & Queiroz, P. F. 2005, Maio 16, 17 e 18. «Testemunhos do consumo de frutos no período islâmico em Lisboa». In *Ándalus Espaço de Mudanza. Balanço de 25 anos de História e Arqueologia Medievais. Homeagem a Juan Zozaja Stabel-Hansen. Séminario internacional*. (pp.195-212). Mértola: Campo Arqueológico de Mértola;
- Buxó, R., & Piqué, R. 2008. *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la península Ibérica*. Barcelona: Ariel;
- Cappers, R.T.J. & Bekker, R.M. 2013. *A Manual for the identification of plant seeds and fruits*. Groningen Archaeological Studies.23. Eelde: Barkhuis;
- Cappers, R.T.J., Bekker, R.M., & Jans, J.E.A. 2006. *Digital Seed Atlas of the Netherlands*. Groningen Archaeological Studies. 4. Eelde: Barkhuis;
- Catarino, H. 1997/98. *O Algarve Oriental durante a ocupação islâmica – povoamento e recintos fortificados*, 3 vols., Al-'Ulyā, nº 6. Loulé: Câmara Municipal de Loulé;
- Costa, C., & Lopes, G. 2012. «O Paço dos Lobos da Gama: Faunas do arrabalde ocidental de Évora islâmica». In *Actas do V Encontro de Arqueologia do Sudoeste Peninsular*. Almodôvar: Câmara Municipal; pp. 795-808.
- Crivellaro, A. & Schweingruber, F.A. (2013). *Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs: with a Special Focus on Cyprus*. Berlin: Springer;
- Fairbairn, A. 2005. "Simple bucket flotation and wet-sieving in the wet tropics". *Palaeoworks Technical Papers* 4, 2-15;
- García Baena, A. 2008. *La alimentación en al-Andalus; cereales y aceite*. Sarría: s.l., Editorial;
- García Sanchez, E. 1996. "La alimentación popular urbana en al-Andalus". *Arqueologia Medieval*, nº4. Mértola: Mértola, Campo Arqueológico de Mértola; pp. 219-235.
- Gomez, S. 2013. «Algumas generalidades sobre a agricultura no al-Ándalus». In *Hortas tradicionais no Sul de Portugal, uma perspectiva histórica*. Mértola: Campo Arqueológico de Mértola;
- Gómez, S. 2015. *Memória dos sabores do Mediterrâneo*. Mértola: Campo Arqueológico / Centro de Estudos Arqueológicos das Universidades de Coimbra e Porto;
- Greig, J. 1989. *Archaeobotany, Handbooks for Archaeologist*, n. 4. Strasbourg: European Science Foundation;
- Ibn, A. 1981. *Sevilla a comienzos del siglo XII. El tratado de Ibn 'Abdīn* (traducción de Emilio

- García Gómez y E. Lévi- provençal). Sevilla: Servicio municipal de Publicaciones;
- Ibn, L. 1988. *Tratado de Agricultura* (traducción de Joaquina Eguaras Ibáñez). Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife;
- Inside wood 2004. onwards. Published on the Internet <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>;
- Jacomet, S. & collaborators 2006. "Identification of cereal remains from archaeological sites". 2nd edition. Archaeobotany Lab IPAS: Basel University;
- Leandro Martins, S.C. 2013. *Estudo arqueofaunístico do Castelo de Slir (Loule). Contribuição para o conhecimento da dieta alimentar Islâmica*. (Tese de Mestrado em Arqueologia Policopiada), Universidade do Algarve, Gambelas – Faro;
- Pais, J. 1996. «Paleoetnobotânica (finais séc. XI a séc. XIII/XIV) do Sul de Portugal» - Setúbal, Mértola e Silves. *Arqueologia Medieval* 4, 277 – 282;
- Pearsall, D.M. 2000. *Palaeoethnobotany*. San Diego: Academic Press;
- Queiroz, P.F. 1999. *Estudo Paleobotânico do depósito conservado numa estrutura romana reaproveitada em período islâmico do núcleo arqueológico da Rua dos Correiros*. (IPA n. 1). Lisboa: Trabalhos do CIPA;
- Queiroz, P.F. 2001. *Estudos de Arqueobotânica no Convento de São Francisco de Santarém*. (IPA n. 17). Lisboa: Trabalhos do CIPA;
- Queiroz, P. F. 2008. *Identificação de um Conjunto de Carvões Proveniente do Povoado Neolítico do Casal da Cerca, Palmela*. (IPA n.116). Lisboa: Trabalhos do CIPA;
- Queiroz, P.F. 2009a. *Identificação botânica de um conjunto de carvões de madeira do sítio do Martinhal (Sagres)*. (Território Antigo relatórios n. 2). Lisboa: Terra Scenica;
- Queiroz, P.F. 2009b. «Estudo Arqueobotânico do depósito do silo 1, sondagem 10». In *A Villa Romana da sub-serra de Castanheira do Ribatejo (Vila Fraca de Xira). Trabalho Arqueológicos efectuados no âmbito de uma obra d EPAL*;
- Queiroz, P.F. 2009c. *Identificação de carvões de madeira no âmbito do Projecto- O Efeito de Reservatório Oceânico nas Áreas de Transição do Upwelling Costeiro Oeste-Ibérico PTDC/ MAR/68932/2006-*. (Território Antigo relatórios n. 10). Lisboa: Terra Scenica;
- Queiroz, P. F. 2010. *Novos carvões dos fornos romanos do Martinhal*. (Relatorio técnico n. 17). Lisboa: Terra scenica;
- Queiroz, P.F. 2011. *Identificação de carvões de madeira no âmbito do Projecto- O Efeito de Reservatório Oceânico nas Áreas de Transição do Upwelling Costeiro Oeste-Ibérico PTDC/ MAR/68932/2006- IV – Cacela Velha, Vila Real de Santo António*. (Território Antigo relatórios n. 23). Lisboa: Terra Scenica;
- Queiroz, P.F. 2012. *Estudos arqueobotânicos no Mosteiro de São João de Tarouca, Viseu*. Território Antigo, relatórios n. 15. Lisboa: Terra Scenica;
- Queiroz, P.F. & Mateus, J. 2014. «As plantas no quotidiano do mundo islâmico. Vestígios arqueobotânicos do sul de Portugal.» In Gomez, S., *Memória dos sabores do Mediterrâneo*. Mértola: Campo Arqueológico / Centro de Estudos Arqueológicos das Universidades de Coimbra e Porto;
- Queiroz, P.F, Van Leeuwaarden, W., & Mendes, P. 2004. *Análises dos restos vegetais carbonizados recolhidos no silo 1 dos Paços do Concelho (Torres Vedras)*. Trabalhos do CIPA n.59. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia;
- Queiroz, P.F, Oliveira, H., & Pereira, T. 2005. *Identificação de um conjunto de madeiras proveniente da estrutura do navio Arade I*. Trabalhos do CIPA n. 93. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia;
- San José, C.T. 1996. «Especies vegetales en el raiño de Granada, segun el vocabulario de Pedro de Alcalá (Siglos XV y XVI)», *arqueologia medieval*, 4, 59-94;
- Schweingruber, F.H. 1990. *Anatomie europäischer Hölzer/Anatomy of European woods*. Bern-Stuttgart: Verlag Paul Haupt;
- Van Leeuwaarden, & Queiroz, P.F. 2001. *Estudos de arqueobotânica no Castelo de Mértola*. (IPA n. 23). Lisboa: Trabalhos do CIPA;
- Van Leeuwaarden, W. & Queiroz, P.F. 2003. *Estudos de arqueobotânica no Castelo dos Mouros, Sintra*. (IPA n. 45). Lisboa: Trabalhos do CIPA;
- Van Leeuwaarden, W., Queiroz, P.F. & Ruas, J.P. 2000. *Estudo Arqueobotânico do Castelo de Silves*. (IPA n.8). Lisboa: Trabalhos do CIPA.

CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE LA CERÁMICA DEL CASTILLO DE ALBARRACÍN (TERUEL, ESPAÑA) EN LA TRANSICIÓN ENTRE LOS SIGLOS XII Y XIII

POTTERY ARCHAEOLOGICAL CHARACTERIZATION FROM THE CASTLE OF ALBARRACIN (TERUEL, SPAIN) IN THE TRANSITION BETWEEN THE TWELFTH AND THIRTEENTH CENTURIES

J. Pérez-Arantequi

Universidad de Zaragoza

A. Hernández Pardos

Acrótera-Gestión del Patrimonio

RESUMEN

El presente estudio se centra en el repertorio cerámico procedente del Castillo de Albarracín entre finales del siglo XII e inicios del XIII, uno de períodos peor reconocidos en el Aragón meridional, pero mejor representados en este yacimiento arqueológico. Se ha obtenido la composición química de varios grupos cerámicos, mediante espectroscopia óptica de emisión con plasma de acoplamiento inductivo-ICP (Inductively Coupled Plasma). La incorporación de análisis arqueométricos al estudio morfológico permite proponer varios probables centros productores en este período, destacando especialmente los recipientes procedentes del Levante almohade.

Palabras Clave: composición química, cerámica, Levante, Albarracín, almohade

ABSTRACT

The present study focuses on the ceramic set from the Castle of Albarracín between the end of the 12th century and the beginning of the 13th century, one of the worst known periods in southern Aragon, but better represented in this archaeological site. The chemical composition of several ceramic groups was obtained by means of Inductively Coupled Plasma (ICP) inductive coupling plasma emission spectroscopy. The incorporation of archaeometric analysis to the morphological study allows to propose several probable producing centers in this period, especially highlighting the containers coming from the Almohad Levant.

Key words: Chemical composition, ceramics, Levante, Albarracín, almohade

* jparante@unizar.es

** arqueoantonio@acrotera.net

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del complejo panorama del Medioevo peninsular, el caso de Albarracín (Teruel, España) constituye un interesante testimonio para conocer la apasionante dinámica histórica que se extendió entre los siglos X y XIII, desde el Califato de Córdoba hasta la expansión de los reinos de Castilla y Aragón. Siendo un pequeño distrito de la Marca Media en época califal, se convirtió tras la *fitna* en el emirato taifa de los *Banu Razin* hasta inicios del siglo XII, un período durante el cual los reinos cristianos de Aragón y Castilla iniciaron su expansión territorial hacia el sur peninsular. Tras ser incorporado al nuevo estado almorávide, pasó a formar parte de la frontera septentrional andalusí hasta la década de 1170, en la que definitivamente fue sometida por los feudales, a través del señorío de los Azagra. Tras la conquista del Levante a lo largo de la primera mitad del siglo XIII, entró a formar parte de la corona aragonesa. Este contexto histórico tiene su inevitable reflejo material, especialmente en la propia población de Albarracín, la antigua sede de los *Banu Razin*, a través del conjunto fortificado que se ha conservado hasta nuestros días, y que constituye una de

las señas de la ciudad. Y dentro de aquél, uno de los aspectos que mejor caracterizan al conjunto arqueológico del Castillo de Albarracín es su carácter estratificado, circunstancia que permite reconocer de un modo excepcional la evolución de los ajueres domésticos medievales de una buena parte del Aragón meridional. El presente estudio se centrará en el repertorio cerámico del período que abarca la transición entre los siglos XII y XIII, que se pueden considerar "unos años oscuros" en la cultura material del Aragón meridional. Sin embargo, se trata de una de las etapas mejor representadas en el castillo y, por ello, más interesantes al permitir reconocer los pormenores de la sustitución de estructura social andalusí por la feudal.

2. ANTECEDENTES

Los trabajos arqueológicos desarrollados en el castillo de Albarracín en el período 2004/2006 (Hernández, 2015; Hernández y Franco, 2010) y en la plaza de la Judería de Teruel durante 2004 (Hernández, 2014) están comenzando a vislumbrar una panorámica de la cultura material en la Extremadura aragonesa durante los siglos XI/XIII y las conexiones con su entorno. El reconocimiento preliminar de



Figura 1- El castillo de Albarracín hacia fines del siglo XI. Base topográfica de Antonio Almagro

los repertorios cerámicos¹ utilizados en ambos ambientes nos llevó a desarrollar un estudio de materiales cerámicos en 2007-2009 (Hernández, 2010), debido fundamentalmente a su carácter complementario, con una coincidencia parcial en determinadas series cerámicas. Dentro de este proyecto, en 2008 se realizaron análisis arqueométricos sobre muestras de pasta cerámica de un conjunto seleccionado procedente del castillo de Albarracín y la plaza de la Judería de Teruel (Pérez-Arantegui, 2008). El desarrollo que en los últimos años han experimentado los estudios arqueométricos aplicados a la composición química de las cerámicas medievales en la Península Ibérica ha permitido renovar la investigación tecnológica de los procesos manufactureros. La posibilidad de identificar químicamente las pastas implica el poder asignar con mayor fiabilidad su procedencia, aunque esta caracterización se ve limitada a las producciones objeto de analíticas. Ciertamente, una parte los ajuares domésticos medievales del Aragón meridional, y con ello alguno de sus centros productores, están siendo identificados gracias a los análisis de la composición química de sus pastas y esmaltes-barnices realizados en los últimos años, de la mano de los investigadores Josefina Pérez-Arantegui y Julián Ortega (2009). Además, esta línea de investigación en torno al castillo de Albarracín ha permitido reconocer, en trabajos de próxima publicación (Hernández, en prensa a y b), una panorámica de la cerámica culinaria consumida en este enclave durante época andalusí.

3. METODOLOGÍA, ANALÍTICA Y RESULTADOS DE LAS MUESTRAS

Entre la cerámica objeto de este estudio, se seleccionaron un grupo de fragmentos para realizar el análisis químico de sus pastas. A consecuencia del estudio y de la clasificación previa llevados a cabo tras finalizar las intervenciones arqueológicas, se comprobó de manera preliminar

que muchas de las piezas cerámicas podían ser agrupadas a partir de sus características técnicas observadas visualmente, teniendo en cuenta criterios como la pasta, el modelado y el acabado de las superficies. Esta hipótesis se matizó durante la realización del estudio cerámico, determinándose una serie de conjuntos cerámicos. Ahora bien, de cara a seleccionar los grupos y los fragmentos que se iban a someter a análisis químico, se redujo el espectro a siete grupos (A/G), que contenían de cinco a siete fragmentos pertenecientes a diferentes piezas. El interés de este material reside en que pertenecen a las diferentes producciones cerámicas que se distribuyeron por el sur de Aragón entre los siglos XII y XIII. En el presente estudio se recogen los resultados obtenidos y de fragmentos que pertenecen a la misma procedencia, concretamente los relativos a los grupos A, G, D y E. La determinación de la composición química se realizó mediante espectroscopia óptica de emisión con plasma de acoplamiento inductivo-ICP (Inductively Coupled Plasma). Para llevar a cabo el análisis, una pequeña cantidad de muestra en polvo se sometió a disolución ácida. En todos los casos el análisis se hizo exclusivamente de la pasta cerámica, independientemente de que llevase aplicado o no algún vidriado. En cada una de las muestras se midió la proporción de elementos como aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), titanio (Ti) y manganeso (Mn), que son integrantes mayoritarios y minoritarios de las pastas arcillosas, junto con otros dos elementos más que aparecen en cantidades de trazas, bario (Ba) y estroncio (Sr). Los resultados cuantitativos aparecen en la Tabla 1 (Apéndice). La comparación entre las muestras y con otros datos analíticos se realizó mediante el análisis estadístico multivariante de agrupamientos (Cluster Analysis). A partir del análisis de la cerámica procedente del castillo de Albarracín, se han podido definir claramente varios grupos cerámicos bastante homogéneos. En primer lugar, se ha distinguido el **Grupo**

¹ Los materiales arqueológicos procedentes de ambas intervenciones están depositados en el Museo de Teruel.

1, con un tipo de pasta muy calcárea por encima del 10% en CaO, al que pertenece la totalidad de las muestras seleccionadas del grupo A y dos muestras del G.

Tienen en común el tipo de pasta, muy depurada, sin desgrasante perceptible, en algún caso con desgrasante muy fino brillante. Se trata de fragmentos esmaltados o vidriados. Además, existen pastas poco calcáreas con valores entre 5 y 10% de CaO, pero que no se han agrupado estadísticamente y que, por el escaso número de muestras, no extraemos todavía conclusiones, como el caso de las muestras G2, G1 y G5.

En segundo lugar, se ha distinguido el **Grupo 2** con una pasta no calcárea, con valores inferiores a 4% en CaO, al que pertenece todo el grupo E de fragmentos. Las pastas muestran un aspecto grueso con abundante desgrasante granítico grueso y chamota, y están elaboradas en cocción mixta con núcleo gris claro y superficies anaranjado-rosáceas. Son ollas sin vidriar y, a veces, pintadas.

En tercer lugar, el **grupo 3**, una pasta no calcárea, con valores inferiores a 5% en CaO, pero con valores más altos de magnesio, a la que pertenecen las muestras seleccionadas del grupo D. Se trata de ollas sin vidriar. El desgrasante es de menor tamaño y hay que destacar la presencia de puntos calcáreos de tamaño medio (1-2 mm). Al corte, la pasta es mucho más decantada, dura y compacta que en los casos anteriores, con una fractura angulosa, en la que se observan numerosos poros y vacuolas. Dentro de esta pasta, la semejanza es muy clara en las muestras D3, D4 y D5. En el caso de D2, esta muestra se diferencia del resto por su bajo nivel de CaO, menor de 1%, aspecto que vincula esta pasta con la utilizada en otros recipientes de mesa de pastas claras y con decoración pintada recuperados en el castillo y de probable elaboración local.

4. EL REPERTORIO CERÁMICO ANALIZADO

Una vez analizados los resultados de la composición química –que han permitido reconocer varios grupos de pastas cerámicas bastante homogéneos–,

pasamos a presentar los recipientes² que fueron elaborados con las mismas. Los resultados de las muestras y recipientes aparecen en la Tabla 2 (Apéndice).

§ Cerámica vidriada de probable procedencia levantina

Con la pasta calcárea tipo A y G (Grupo 1) se obtuvieron varios tipos de recipientes pertenecientes a las series *ataifor* y *redoma*, piezas abiertas y cerradas, respectivamente, muy características de la vajilla andalusí. Dentro del **ataifor** se han distinguido fundamentalmente dos modelos. El mayoritario corresponde a una pieza abierta de perfil carenado redondeado y borde acabado en un labio horizontal más o menos triangular, de grandes dimensiones. Está representando por dos acabados, en un caso con cubierta esmaltada de color turquesa al interior y blanco al exterior, mientras que en el otro el vidriado es de color blanco al interior y exterior (al que pertenecen las muestras A5 y A6) (Fig. 2). Ejemplos similares han sido recuperados mayoritariamente en la región levantina³, como el castillo de Ambra (Pego) (Azuar, 1989, 1999), así como en Denia y Valencia. Su cronología se extiende entre fines del siglo XII y la primera mitad del siglo XIII. El otro modelo de *ataifor* presenta un perfil carenado moldurado con borde triangular. Tienen una cubierta esmaltada de buena calidad, monocroma al interior y exterior, con dos acabados uno de color amarillento muy claro (al que pertenece la muestra A2), y otro azul turquesa (al que pertenece la muestra A3) (Fig. 2). Este último caso muestra como única decoración una espiral modelada en el fondo interior, bajo cubierta. Estas características nos remiten, sin duda, a los *ataifores* carenados almohades documentados en todo el Levante, y

2 Todas las figuras han sido elaboradas por Antonio Hernández Pardos.

3 Se caracteriza por un perfil quebrado y redondeado, labio exvasado de sección triangular y espiral modelada en el fondo interior del *ataifor*.

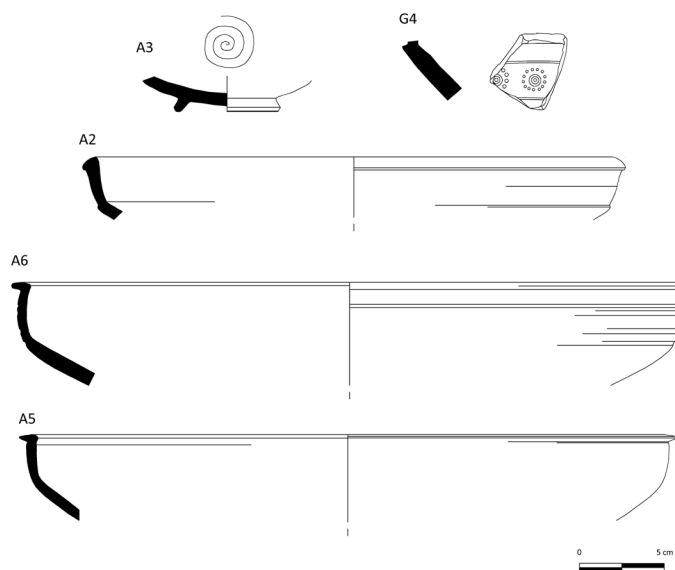


Figura 2- Ataifores del castillo de Albarracín de probable procedencia levantina

cuyo principal centro de producción se localiza en Denia (Gisbert, 1992). Dentro de esta producción, también se elaboraron piezas con decoración estampillada (a la que pertenece la muestra G4) (Fig. 2). Bajo cubierta y al interior, muestra una decoración estampillada, formada por una banda de rosetas, compuestas a su vez por pequeños círculos. La cubierta esmaltada es de color oscuro al interior y verde claro al exterior. La región del Levante peninsular ha proporcionado numerosos ejemplos de esta producción en época almohade, de los que señalamos los procedentes de la alquería valenciana de Santa Fé de Oliva fechados en la segunda mitad del siglo XII⁴ (Bazzana, 1986).

Además de las piezas abiertas, con este tipo de pasta calcárea también se elaboró un modelo de recipiente cerrado, la **redoma**, caracterizado por un perfil piriforme con pie macizo y plano, cuello corto concavo con borde redondeado. Dos ejemplares muestran

un vidriado de color blanco lechoso con decoración pintada en dorado (a la que pertenecen las muestras A1 y A2), mientras que otra pieza presenta cubierta al interior y exterior de color verde oscuro (a la que pertenece la muestra G3). Ejemplos similares son habituales en el Levante durante el período almohade.

§ Otras cerámicas esmaltadas

Otros ejemplares de ataifor con cubierta vidriada fueron elaborados también con pastas calcáreas, aunque a nivel estadístico no han podido ser agrupados. Morfológicamente, se trata de tres ataiiores con cubierta monocroma en verde, asimilables al repertorio cerámico habitual en el Levante en época almohade (Fig. 3). En concreto, corresponden a un fondo anular vidriado en melado sucio y con decoración estampillada (muestra G1), un ataiifor carenado con moldura en pico y labio en pico y vidriado en verde claro (muestra G2) y un ataiifor de perfil sinuoso muy abierto vidriado en verde oscuro (muestra G5). En el último caso, su cubierta vítrea de color verde oscuro evoca a ciertas producciones surgidas de los alfares levantinos en época

4 Estos ataiiores, con carena moldurada y labio engrosado de sección triangular, presentan decoración estampillada en el fondo de la pieza, con banda de rosetas o palmetas.

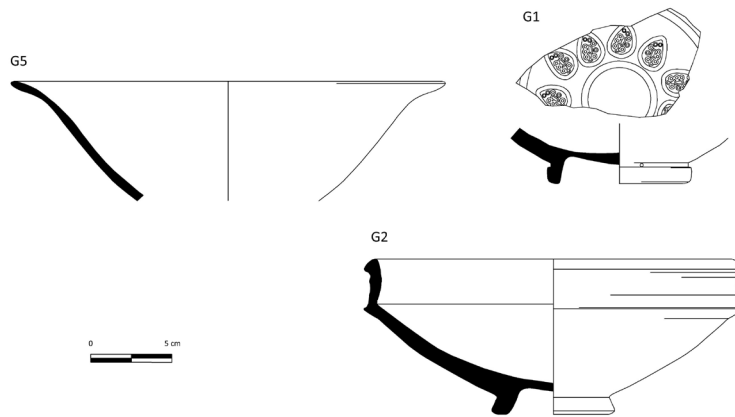


Figura 3. Ataifores del castillo de Albarracín de procedencia incierta

almohade, sobre todo de Denia. El mismo perfil del ataifor, muy profundo y abierto, se puede adscribir también a cronologías situadas en la primera mitad del siglo XIII.

§ Cerámica culinaria de probable procedencia valenciana

Con las pasta tipo E (Grupo 2) se elaboraron recipientes exclusivamente de cocina, forma olla, con una coincidencia formal y tecnológica muy claras, lo que ha permitido definir este grupo cerámico. La mayoría de estas ollas presentan un perfil globular panzudo con cuello alto ligeramente acampanado con marcadas y gruesas acanaladuras, rematado por un borde engrosado en forma de cinta (Fig. 4). Cuenta con dos asas gruesas en cinta y desarrollo vertical entre el cuello y el hombro. Se han reconocido pequeñas variantes, con perfil semejante aunque

borde redondeado, y, sobre todo, unas dimensiones menores (Fig. 4). No obstante, el rasgo más reseñable es su decoración, formada por varios motivos pintados a la almagra con pincel grueso en cuello, panza y asas, trazos horizontales paralelos y en zigzag. Los paralelos se localizan en el área levantina, aunque es la ciudad de Valencia la que ha proporcionado ejemplares idénticos a los recuperados en el castillo de Albarracín. Así, este tipo de olla se ha recuperado en contextos de uso, como el Palau de Las Cortes (López et al., 1994), y de producción, como el alfar de c/ Sagunto (Azuar, 1998; Pascual et al., 2009), todos fechados en época almohade. La fuerte coincidencia, tanto formal como técnica, con una parte de la producción del alfar almohade de Valencia ya citado, permite identificar los recipientes hallados en el castillo de Albarracín como productos elaborados en la Valencia almohade.

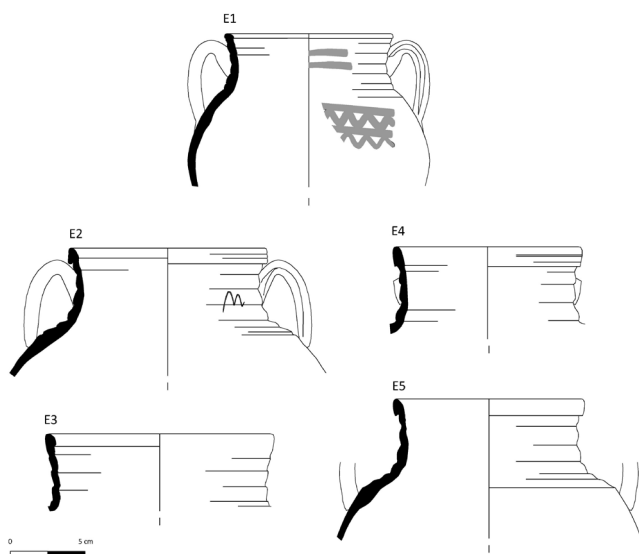


Figura 4. Ollas del castillo de Albarracín de probable procedencia levantina

§ Cerámica culinaria de probable procedencia local

Por último, dentro del conjunto cerámico analizado, se ha identificado una pasta no calcárea (tipo D, Grupo 3) utilizada para elaborar recipientes de cocina y almacenaje, y cuya procedencia presumiblemente es local (Hernández y Pérez-Arantegui, en prensa b). En su mayor parte se trata de un tipo de olla de reducidas dimensiones, con cuellos cilíndricos y cortos rematados por pequeño bordes ligeramente en pico (muestra D2) (Fig. 5). A tenor de los resultados –con una coincidencia en la composición de su pasta–, también se utilizó para otro modelo de olla muy escaso en el castillo de Albarracín, que se caracteriza por el borde recto y las asas verticales (muestra F2) (Fig. 5).

Sin paralelos próximos, la olla guarda cierta semejanza formal con algunos modelos de olla de época almohade en el entorno de Alicante y Denia (Azuar, 1994), aunque es más probable considerarla una imitación local. Junto a la cerámica culinaria, con estas pastas no calcáreas se manufacturaron otros recipientes del servicio de almacenaje, como una cantimplora (muestra D1) (Fig. 5). Presenta un pie convexo diferenciado –un rasgo muy habitual en las cerámicas de filiación almohade– y una decoración a base de trazos incisos. Si bien es mayoritaria en los niveles fechados durante la primera mitad del siglo XII, algunos recipientes aparecen con posterioridad, por lo que se puede pensar que la industria alfarera local perviviera de un modo minoritario hasta inicios del siglo XIII.

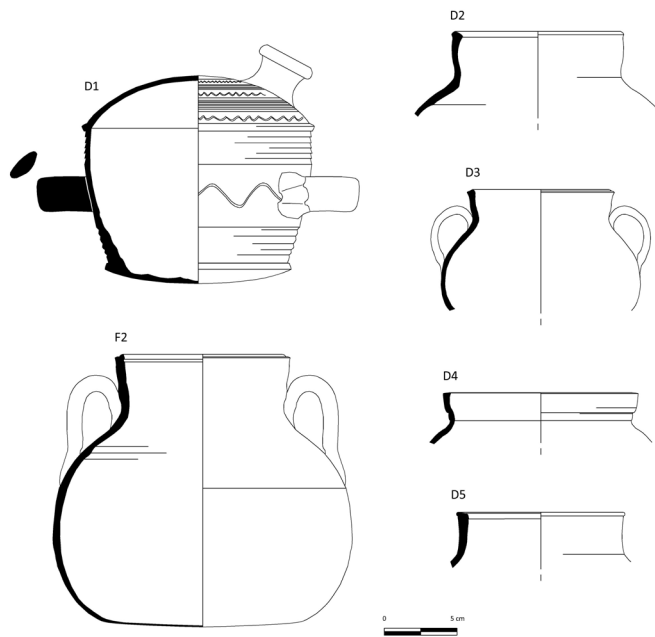


Figura 5. Ollas y cantimplora del castillo de Albarracín de probable procedencia local

5. CONCLUSIONES

A partir de criterios tecnológicos como la pasta, el modelado y el acabado de las superficies, se han diferenciado varios grupos cerámicos, de los que se ha obtenido su composición química mediante espectroscopia óptica de emisión con plasma de acoplamiento inductivo-ICP (Inductively Coupled Plasma). La incorporación de análisis arqueométricos (Pérez-Arantegui, 2008) al estudio morfológico de la cerámica recuperada en el castillo de Albarracín en 2004/2006 (Hernández, 2010) ha permitido establecer la existencia de varios probables centros productores en este período, destacando especialmente los recipientes procedentes del Levante almohade, fechados en las últimas décadas del siglo XII y primeras de la

centuria siguiente, que se sumaron a una producción local en vías de extinción. A partir de mediados del siglo XIII, el panorama de la Extremadura aragonesa cambiará radicalmente con la irrupción de las primeras producciones turolenses, muy dependientes formalmente de modelos almohades (Hernández, 2014; Hernández y Pérez-Arantegui, en prensa a). Los estudios químicos de la cerámica medieval del Aragón meridional – procedentes fundamentalmente de las localidades de Teruel y Albarracín, en su doble condición de centros alfareros y consumidores- constituyen una de las más consolidadas perspectivas de análisis arqueométrico de la cerámica medieval peninsular desarrolladas en los últimos años, tal y como demuestra la bibliografía generada.

BIBLIOGRAFÍA

- AZUAR RUIZ, R. 1989. *Denia islámica. Arqueología y poblamiento*, Alicante.
- AZUAR RUIZ, R. 1994. *El Castillo del Río (Aspe, Alicante). Arqueología de un asentamiento andalusí y la transición al feudalismo (siglos XII-XIII)*, Alicante.
- AZUAR, R., MARTÍ, J. & PASCUAL, J. 1999. "La Castell d'Ambrà (Pego, Alicante). De las producciones andalusíes a las cerámicas de la conquista feudal (siglo XIII)", *Arqueología y Territorio medieval*, 6, pp. 279-301.
- BAZZANA, A. 1986b. "Typologie et fonction du mobilier céramique d'une alquería musulmane á Valence aux XI^e et XII^e siècles: Santa Fe de Oliva", *Actas del II Coloquio Internacional de Cerámica Medieval en el Mediterráneo Occidental*, Madrid, pp. 205-217.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. 2008. *Una sociedad en (trans)formación. Estudio de los repertorios cerámicos andalusíes del Castillo de Albarracín*, inédito.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. 2014. "La cerámica feudal entre mediados de los siglos XIII y XIV, según el repertorio de la plaza de la Judería de Teruel", *Arqueología y territorio medieval*, 21, pp. 177-206.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. 2015. "La intervención arqueológica en el Castillo de Albarracín, la campaña de 2004", *Salduie, Revista de Prehistoria y Arqueología*.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. en prensa. "La cerámica culinaria andalusí del castillo de Albarracín (Teruel)", *Debates de Arqueología Medieval*.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. & FRANCO CALVO, J. G. 2010. "Albarracín medieval: arqueología urbana en los últimos años", *Actas de las Jornadas de Arqueología Medieval en Aragón. Balances y novedades*, Teruel, pp. 357-402.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. & PÉREZ-ARANTEGUI, J. en prensa a. "Caracterización arqueométrica de la producción cerámica turolense a partir de mediados del siglo XIII", *XVII Congreso de Ceramología. En torno a la cerámica medieval*, Ojós (Murcia)-noviembre 2014.
- HERNÁNDEZ PARDOS, A. & PEREZ-ARANTEGUI, J. en prensa b. "La definición formal y tecnológica de la cerámica medieval del Castillo de Albarracín, siglos XII-XIII", *I Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*, Zaragoza, noviembre de 2015.
- LOPEZ GARCIA, I., MARIN JORDA, C., MARTINEZ GARCIA, R. & MATAMOROS DE VILLA, C. 1994. *Hallazgos arqueológicos en el Palau de Les Corts*, Valencia.
- PASCUAL, J., ARMENGOL, P., GARCIA, I., ROCA, L. & RUIZ, E. 2009. "La producción cerámica almohade en la ciudad de Valencia. El alfar de la calle Sagunto", *Actas del VIII Congreso Internacional de Cerámica Medieval*, Ciudad Real 2006, t. I, pp. 355-372.
- PEREZ-ARANTEGUI, J. 2008. *Cerámicas medievales del Castillo de Albarracín. Caracterización química de distintos grupos de pastas cerámicas*, inédito.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., ORTEGA, J. & ESCRICHE, C. 2007. "La tecnología de la cerámica mudéjar entre los siglos XIV y XVI: las producciones esmaltadas de las zonas de Teruel y Zaragoza". En *Avances en Arqueometría, 2005* (Eds. J. Molera, J. Farjas, P. Roura, T. Pradell). Universitat de Girona, Girona, pp. 89-96.-
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., ORTEGA, J. M. & ESCRICHE, C. 2009. "The Hispano-Moresque tin-glazed ceramics produced in Teruel (Spain): a technology between two historical periods, 13th-16th c. AD". En *From mine to microscope. Advances in the study of ancient technology* (Eds. A. J. Shortland, I. C. Freestone, Th. Rehren), Oxford, 61-68

Apéndice

Tabla 1. Composición química de las pastas cerámicas analizadas (% en peso de los óxidos de los elementos, excepto bario y estroncio en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

	Muestra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Ba	Sr
Grupo 1	A1	0,315	1,92	12,5	3,54	26,6	0,581	0,0479	4,45	334	422
	A4	0,427	1,97	12,1	3,09	23,6	0,601	0,0469	4,08	358	372
	A3	0,431	2,76	13,5	3,70	21,7	0,632	0,0681	4,81	378	420
	A2	0,706	2,71	14,5	3,09	14,6	0,737	0,0475	5,08	402	269
	A5	0,474	2,21	14,4	3,94	15,9	0,682	0,0516	4,93	424	291
	A6	0,571	2,26	14,2	3,59	15,5	0,718	0,0555	4,71	413	459
	G3	0,740	3,16	14,7	3,82	17,0	0,622	0,0691	4,73	452	572
	G4	0,771	2,56	15,1	3,35	16,2	0,742	0,0523	5,36	425	308
Grupo 2	E1	0,297	2,85	15,0	5,01	1,93	0,618	0,0274	4,43	625	602
	E2	0,210	1,66	16,4	4,52	0,84	0,692	0,0236	4,40	394	284
	E3	0,218	1,37	13,3	4,01	0,73	0,598	0,0130	3,36	426	200
	E4	0,190	1,46	14,2	3,80	2,40	0,585	0,0180	3,64	357	270
	E5	0,219	1,69	17,8	4,43	1,46	0,732	0,0272	5,14	415	269
Grupo 3	D1	0,349	6,07	20,0	6,30	4,50	0,886	0,0476	5,43	439	726
	D3	0,266	4,15	19,4	5,99	3,31	0,947	0,0519	7,52	610	1060
	D4	0,245	4,21	16,1	5,85	2,21	0,744	0,0383	6,66	569	641
	D5	0,361	4,30	19,8	6,17	1,96	0,927	0,0388	7,65	536	763

Tabla 2. Relación de las muestras cerámicas analizadas

Muestra	Pieza	Acabado	Sigla	Fig.
A1	Redoma	Esmalte en blanco	CSAB05.749.41	
A2	Ataifor	Esmalte en amarillo	CSAB05.799.5	2
A3	Ataifor	Esmalte en turquesa	CSAB05.799.46	2
A4	Redoma	Esmalte en blanco	CSAB05.799.53	
A5	Ataifor	Esmalte en verde azulado/ blanco	CSAB05.800.15	2
A6	Ataifor	Esmalte en blanco/verde	CSAB05.800.146	2
G1	Ataifor	Barniz en verde y estampillas	CSAB05.702.26	3
G2	Ataifor	Barniz en verde (interior)	CSAB05.738.1	3
G3	Redoma	Vidriado en marrón/verdoso	CSAB05.749.52	
G4	Ataifor	Barniz en verde y estampillas/blanco	CSAB05.799.49	2
G5	Ataifor	Barniz en verde (interior)	CSAB05.533.5	3
E1	Olla	Pintada	CSAB05.749.181	4
E2	Olla		CSAB05.749.123	4
E3	Olla		CSAB05.799.116	4
E4	Olla		CSAB05.799.122	4
E5	Olla		CSAB05.523.19	4
D1	Cantimplora	Excisa	CSAB05.749.191	5
D2	Olla o orza		CSAB05.749.139	5
D3	Olla		CSAB05.525.75	5
D4	Olla		CSAB05.626.358	5
D5	Olla		CSAB05.800.295	5
F2	Olla		CSAB05.525.74	5

DATACIÓN CRONOLÓGICA POR ^{14}C Y TERMOLUMINISCENCIA DE TAPIALES ISLÁMICOS DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

^{14}C CHRONOLOGICAL DATA AND THERMOLUMINISCENCE OF ISLAMIC TAPIALES OF THE REAL ALCAZAR OF SEVILLE

M.A. Tabales*

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

J. Alejandro

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

F.J. Blasco-López

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

V. Flores-Alés

C. Vargas
Proyecto TEP-1843

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el estudio de muestras procedentes de tapiales del Real Alcázar de Sevilla. El conocimiento arqueológico e historiográfico, de acuerdo con las técnicas y estilos constructivos así como con la información documental existente, permite establecer una serie de hipótesis de asignación cronológica de elementos de la muralla del palacio. El estudio de muestras procedentes de los tapiales de estas murallas mediante ^{14}C , sobre restos de carbón vegetal y madera, y termoluminiscencia, sobre restos cerámicos, posibilita contrastar o poner en cuestión las teorías previas. La aparición de nuevos lienzos de muralla, hasta ahora inaccesibles o desconocidos por estar integrados y ocultos en viviendas particulares, ha permitido ampliar el campo de análisis sobre el que trabajar en la estructura analítica cronológica del primer recinto del Palacio. El análisis arqueométrico y el recurso a las técnicas instrumentales resultan determinantes para profundizar con mayor criterio y rigor en el estudio de monumentos tan estudiados e interesantes como un edificio de la envergadura del Alcázar de Sevilla.

Palabras clave: Arqueometría, ^{14}C , termoluminiscencia, tapiales islámicos.

ABSTRACT

The present work develops the study of samples coming from the *tapiales* of the Real Alcázar of Sevilla. The archaeological and historiographic knowledge, according to the techniques and constructive styles as well as with the existent documentary information, allows to establish a series of hypotheses of chronological signatures of elements of the wall of the palace. The study of samples from the *tapiales* of these walls with ^{14}C , on charcoal and wood remains and thermoluminescence, on ceramic remains, makes it possible to question previous theories. The appearance of new wall paintings, hitherto inaccessible or unknown to be integrated and hidden in private homes, has allowed to expand the field of analysis on which to work in the chronological analytical structure of the first enclosure of the Palace. The archaeometric analysis and the use of instrumental techniques are decisive to deepen with greater discretion and rigor in the study of monuments as studied and interesting as a building of the magnitude of the Alcazar of Sevilla.

Key words: Archaeometry, ^{14}C , thermoluminescence, Islamic *tapiales*.

* falejan@us.es

INTRODUCCIÓN

El Alcázar de Sevilla es uno de los monumentos más complejos e irregulares del patrimonio construido español. Es el fruto de siglos de adaptaciones, ampliaciones y reformas difíciles de explicar si no se tienen en cuenta argumentos de partida determinantes como la topografía, los cambios de la llanura aluvial, la forma de la ciudad en cada período histórico, por no hablar de los vaivenes políticos de uno de los períodos más convulsos de nuestra historia, como es el que transcurre desde el siglo XI al XIII (Tabales 2001). Como resultado de todo ello, durante la segunda mitad del siglo XX, con herramientas metodológicas muy precarias fundamentadas en la especulación analógica y la interpretación de las exiguas fuentes islámicas existentes, se fue generando un modelo interpretativo coherente basado en atribuciones cronológicas que permitieron establecer una secuencia lógica, en la que se daban por hecho tres hipótesis que articulaban todo un discurso y generaban un axioma casi inamovible (Gestoso 1984, Carriazo 1951, Blanco 1977, Jiménez 1981, Morales 2007). La primera de ellas identificaba el Alcázar original con dos posibles impulsos constructivos ubicados con el período Emiral (Valor 1991); la segunda atribuía al emblemático Al Mutamid la expansión durante el siglo XII que daría forma a la mayor parte de lo que hoy se identifica en su interior (Lévi-Provençal 1948). Por último su máximo esplendor se interpretaba claramente durante el período almohade (Marçais 1926, Terrase 1932, Valor 2000). Las investigaciones arqueológicas efectuadas durante las dos últimas décadas, han incorporado herramientas de análisis cuya aplicación ha permitido plantear un nuevo modelo que confirma gran parte de lo sostenido hasta ahora en relación al período almohade, a la par que replantea la hipótesis de su cronología original y proceso de transformación. Así ha sucedido con la datación del Alcázar primitivo, cuya construcción puede situarse cada vez con menos dudas, entre los últimos momentos del s.XI e inicios del s.XII,

adelantando de este modo la cronología para el primer recinto en un siglo respecto a las fuentes documentales clásicas. En este sentido, los últimos estudios realizados en la muralla del recinto primero han permitido comprobar por vez primera cómo sus cimientos cortaban directamente las edificaciones de época taifa. Su análisis, en el que se han utilizado todas las herramientas de las que disponen la arqueología y la arqueometría (estudios ceramológicos, estratigráficos, radiocarbono y termoluminiscencia) ha contribuido de manera considerable a la comprensión del proceso de replanteo y levantamiento, tanto de las murallas del primer Alcázar como de la secuencia de ejecución de sus palacios interiores; la muralla en sí ha revelado una configuración sorprendente en sus torres al constatar que éstas no eran macizas en origen; la existencia de cámaras internas en toda su altura, rematadas por bloques pétreos en aproximación de hiladas configurando buzones abiertos al adarve supone una novedad tipológica que tan sólo se ha empezado a investigar, y que parecen definir un *unicum* en el contexto de la arquitectura militar andalusí. Por último, la existencia de una antigua alcoba con una bóveda de crucería cordobesa conservada en la actual vivienda nº 2 del Patio de Banderas (primitivo patio de armas del Alcázar), siempre hizo pensar en la posibilidad de una correspondencia con el primitivo palacio asociado a la construcción del primer recinto del Alcázar (figura 1). Las posibilidades de corroborar esta hipótesis, hasta el momento impedidas por la inexistencia de obra alguna que justificara un análisis arqueológico profundo, surgieron a raíz de una intervención efectuada en la vivienda contigua, deparándonos resultados sorprendentes a la par que determinantes; efectivamente nos encontramos ante el primer palacio del Alcázar de Sevilla, levantado durante los últimos años del s.XI y principios del s.XII, inmediato a la construcción del primer recinto (figura 2). Será el referente para la arquitectura palatina posterior representada en el Alcázar por el Palacio del Crucero y el de la Contratación (Tabales 1998).

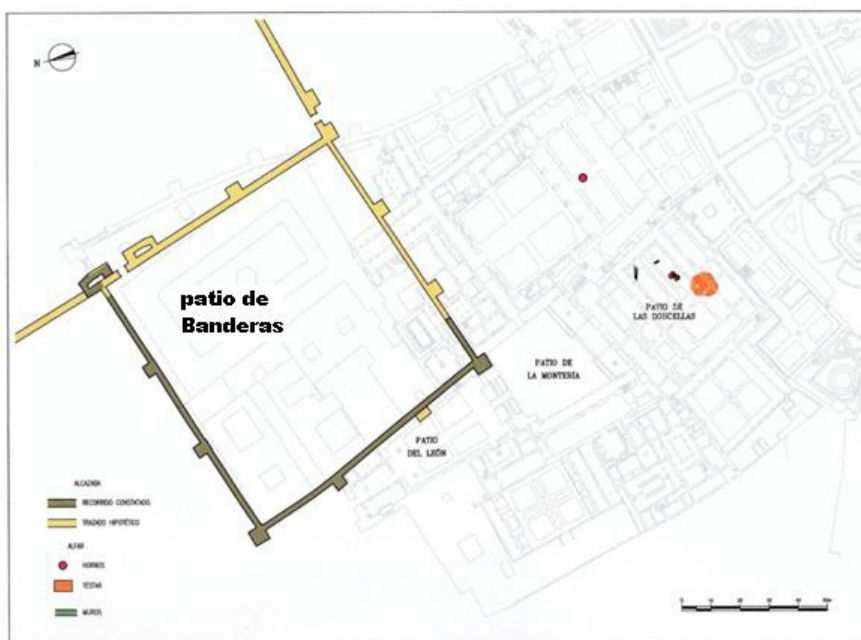


Figura 1- Localización del primer recinto amurallado en torno al actual patio de Banderas



Figura 2- Infografía del primer palacio del Alcázar de Sevilla levantado durante los últimos años del s.XI y principios del s.XII

OBJETIVO

El objetivo básico de esta investigación, a partir de las diferentes dataciones que se incluyen en este trabajo, es aproximar al máximo la fecha de la construcción del primer alcázar y de su palacio principal. Mediante la comparación de los datos procedentes del estudio estratigráfico y ceramológico

de los materiales de las cimentaciones, con las dataciones radiocarbónicas y mediante termoluminiscencia, la presente contribución pretende avanzar en la evolución de este sector urbano de la ciudad de Sevilla, en la época abbadí hasta el momento de la implantación de la primera fortificación del alcázar y sus pasos inmediatos.

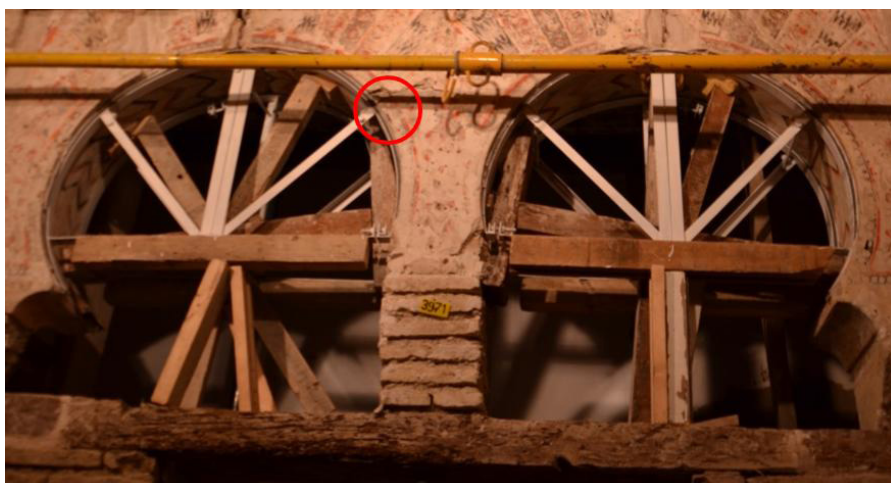


Figura 3. Zona de toma de muestra de madera insertada en la estructura del muro



Figura 4- Muestra de fragmento cerámico tomada de uno de los lienzos del muro



Figura 5- Zona de toma de muestras de fragmento de ladrillo de un muro interior de ladrillo y mortero de cal.

TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGÍA

La datación por radiocarbono se llevó a cabo sobre nódulos de carbón extraídos de los tapiales y morteros (procedentes posiblemente de fracciones vegetales calcinadas en los procesos de preparación de cal) y fragmentos de madera de vigas y cuñas (figura 3).

Las dataciones por termoluminiscencia (TL) y luminiscencia estimulada ópticamente (OSL) se realizaron en el Instituto Universitario de Geología Isidro Parga de la Universidad de La Coruña, sobre 3 muestras de materiales cerámicos: un fragmento de ladrillo en un muro de sillería de roca exterior, un fragmento de cerámica enterrado en sedimento bajo el muro exterior de sillería (de donde se tomó la muestra 11/14) (figura 4) y un fragmento de ladrillo de un muro interior de ladrillo y mortero de cal (figura 5).

Las primeras interpretaciones cronológicas se han realizado a partir del análisis estratigráfico y del análisis de los restos encontrados en las excavaciones arqueológicas. Estos primeros estudios ponían en cuestión teorías basadas en los modelos interpretativos que se valían de las hipótesis clásicas. A partir de aquí se entendió necesario recurrir a técnicas instrumentales de datación. El tratamiento de las muestras varía en función de que se trate de restos de carbón vegetal existentes dentro del material constructivo que conforma los paramentos, o restos de madera procedentes de la estructura constructiva de los arcos o de impurezas existentes en la matriz del mismo (Hua 2009). En el primer caso, el carbono de la muestra pretratada se oxida primero a CO_2 por reacción directa con óxido cúprico. El CO_2 obtenido se grafitiza por reacción con hidrógeno. La determinación del cociente isotópico $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ que se utiliza para el cálculo de la edad, se ha efectuado combinando la técnica de espectrometría con un acelerador espectrómetro de masas 1MV (AMS), con un acelerador de partículas Tandetrón AMS (Accelerator Mass Spectrometry), ubicado en el Centro

Nacional de Aceleradores de la Cartuja de Sevilla. En cuanto al error de esta técnica, típicamente puede estar en el orden de ± 30 años para muestras modernas (2000-3000 años). Cuando se trata de madera, la muestra se ha sometido previamente a un tratamiento de carbonización y posterior transformación en CO_2 y grafitización. La medida de TL y OSL de las muestras, en un laboratorio iluminado con luz roja, se eliminaron aproximadamente 5 mm de la capa externa de los materiales y se separó el material de su interior. Estos materiales fueron desagregados por presión en una machacadora de muelas. Del material obtenido se reservó una fracción (5 g) de cada muestra para obtener la dosis de radiación anual por medio de Espectrometría de Masas por Acoplamiento de Plasma Inducido (ICP-MS) y Fluorescencia de Rayos-X. Los materiales obtenidos fueron secados en estufa a 45°C y se tamizaron, seleccionando la fracción de tamaño de grano 90-180 μm . Esta fracción fue tratada con varias digestiones ácidas para eliminar, materia orgánica, carbonatos (H_2O_2 y HCl). El material resultante se sometió a una separación por densidad con un líquido ultradenso y centrifugación que permitieron separar el cuarzo de feldespatos y minerales pesados. El cuarzo obtenido se trató con HF para eliminar la capa más externa (afectada por radiación alfa) y eliminar otros minerales que pudieran ser separados con el cuarzo. Tras este paso, la cantidad de cuarzo obtenido para las muestras 11/14 y 12/14 fue escasa (unos pocos mg) y menor todavía para la 13/14. Para la medida de la ED se aplicó un protocolo de preparación de cuarzo de grano grueso y medición por el Additive Dose, AD-TL (Aitken 1985). Para cada fracción y muestra se seleccionó un intervalo de temperatura por medio del Test Plateau que fue el utilizado para integrar la señal y para obtener la medida de luminiscencia (Fernández 1992). También se midió la OSL (utilizando el SAR) dada la baja sensibilidad del cuarzo., dado que la OSL proporciona una mayor sensibilidad con menores cantidades de muestra. La

medida en polimineral se hizo a través del mismo procedimiento por TL, realizándose tests (tests de fading) complementarios de irradiación beta y medición de la señal tras varios intervalos de horas y varios días. Además se midió la señal IRSL y la de IRSL posterior a elevada temperatura (pIR IRSL) de la misma fracción polimineral, realizando nuevamente tests de fading para las señales de IRSL y pIR IRSL. Todas las medidas se realizaron en un lector automático RISØ TL/OSL-DA-15 equipado con un fotomultiplicador EMI 9635 QA, y usando una fuente interna $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ que proporciona una dosis de 0.120 ± 0.003 Gy/s.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las expectativas que suscitaban el empleo de este tipo de ensayos en el ámbito arqueológico han sido satisfactorias. Ya conocíamos la fiabilidad de las dataciones mediante

^{14}C , cuya aplicación en el Alcázar lleva realizándose desde el año 2008; no así de termoluminiscencia, siendo esta la primera ocasión en la que se ha recurrido a esta técnica para comprobar la validez de sus resultados (tabla 1). En este sentido, las muestras analizadas mediante ^{14}C han revelado una horquilla cronológica coherente respecto a las conclusiones de las investigaciones histórico-arqueológicas así como de los estudios cerámicos, coincidiendo todos ellos tanto en el momento de la construcción del primer recinto islámico, es decir, entre 1023 y 1091 (inclinándonos especialmente por los últimos momentos de al-Mutamid) como de su palacio principal, fechado también con argumentos arqueológicos en torno a finales del s.XI-principios del s.XII. Los resultados obtenidos con termoluminiscencia han ayudado a cerrar un poco más el espectro de

Tabla 1. Exposición de resultados con datación por Termoluminiscencia en comparación con los análisis mediante C14 y estratigráficos.

Adscripciones cronológicas			
IDENTIFICACIÓN	DATACIÓN PROVISIONAL SEGÚN ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICOS	DATACIÓN SEGÚN ^{14}C rango/probabilidad	DATACIÓN SEGÚN TERMOLUMINISCENCIA
Muralla Recinto I	Finales s.XI-inicios s.XII	Muestra MAED (CNA 1366): Muralla [cal AD 1023: cal AD 1168] 100%	Muestra 11/14: Muralla 965 (estimación en años D.C. ± 85)
		Muestra Alcázar UE 7 (CNA 636) Torre muralla [cal AD 1041: cal AD 1109] 61%	Muestra 12/14: Cerámica cimiento 1083 (estimación en años D.C. ± 95)
Palacio islámico del Recinto I	Finales s.XI-inicios s.XII	Muestra 36/14: Palacio [cal AD 1027: cal AD 1170] 97%	Muestra 13/14: Palacio 1146 (estimación en años D.C. ± 50)
		Muestra 1/15: Palacio [cal AD 1023: cal AD 1163] 1.	
		Muestra 2/15: Palacio [cal AD 1022: cal AD 1156] 100%	

posibilidades. De este modo, el cimiento de la muralla (muestra 12/14) arroja una edad coherente con las analíticas de C-14 y tendente a los últimos momentos de época taifa. La datación en sí de la muralla (muestra 11/14), puede parecer incomprensible, ya que revela un intervalo comprendido entre el s.IX y primera mitad del XI. No obstante, podemos encontrar un razonamiento lógico en este solapamiento de fechas si atendemos al material tomado para la muestra 11/14: es ladrillo integrado en un mortero de un muro de sillería, pudiendo, con un alto grado de probabilidad, haber sido reutilizado de una fábrica más antigua. Por último, la muestra tomada para datar el palacio del primer recinto (muestra 13/14) corresponde claramente al siglo XII, entrando igualmente dentro de los resultados esperados, es decir, entre finales del s.XI y XII.

CONCLUSIONES

El análisis por radiocarbono de las muestras de la fábrica de la muralla presenta resultados coherentes con el estudio de los materiales cerámicos encontrados en ella. El análisis por TL/OSL aporta datos que corroboran la hipótesis inicial: construcción en período taifa (s.XI) o principios del almorávide (1ª mitad s.XII) Los resultados correspondientes al primer palacio se decantan por una cronología taifa tardía-almorávide (finales s.XI-XII), lo que presupone un proceso constructivo progresivo lógico. Estos resultados avalan las tesis actuales que adelantan las primeras construcciones del Alcázar en torno a un siglo respecto de las fuentes tradicionales. El recurso a la arqueometría para períodos tan recientes de nuestra historia es especialmente útil como herramienta metodológica para la Arqueología de la Arquitectura ya que elimina gran parte de las dudas generadas por el empleo de la analogía histórico artística.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren agradecer la financiación de esta investigación como proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía "Análisis Estratigráfico y Cronotipológico de los Recintos Fortificados del Alcázar de Sevilla. Procedimientos, Sistemas y Aplicaciones desde su Vertiente Constructiva" (P12-TEP-1843).

BIBLIOGRAFÍA

- Aitken, M.J. 1985. *Termoluminescence dating*. London, Academic Press.
- Blanco Freijeiro A. 1976. *Historia de Sevilla. La ciudad antigua*, S.P. Universidad.
- Carriazo J de M. 1951. "Las murallas de Sevilla". *Archivo Hispalense* nº 448-449: 9-39.
- Fernández Arribas J.G. 1992. *Datación Absoluta por termoluminiscencia en materiales arqueológicos*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.(Inédita)
- Gestoso J. 1984. *Sevilla monumental y artística (1890). Historia y descripción de todos los edificios notables*, vol III. Ed. Conf Esp Cajas de Ahorro.
- Hua Q. 2009. "Radiocarbon: A chronological tool for the recent past". *Quaternary Geochronology* 27 4 (5): 378-390
- Jiménez Martín A. 1981. "Análisis formal y desarrollo histórico de la Sevilla medieval", en AA.VV. *La arquitectura de nuestra ciudad*. Ed. COAyAT Sevilla: 13-21
- Lévi-Provençal E., García Gómez E. 1948. *Sevilla a comienzos del siglo XII. El tratado de Ibn Abdum*. COAyAT Sevilla: 53
- Marcas G. 1921. *Manuel d'Art Musulman*. Paris
- Morales Martínez A.J. 2007. "Las murallas de Sevilla". *Actas del Congreso Internacional Ciudades amuralladas*. Pamplona: 157-161
- Tabales M.A. 1998. *Análisis prospectivo y estudio de paramentos del Real Alcázar de Sevilla*. Memoria científica inédita.
- Tabales M.A. 2001. "Las murallas del Alcázar de Sevilla". *Apuntes del Alcázar*, 2: 6-35
- Terrase H. 1932. *L'Art hispanomauresque, des origeners au XIIIème siècle*. París
- Valor M. 1991. *La arquitectura militar y palatina en la Sevilla musulmana*. Ed. Dip. Prov Sevilla: 69
- Valor M, Ramírez del Río J. 2000. "Las defensas de Sevilla, en Sevilla 1248". *Congreso Internacional Conmemorativo del 750 Aniversario de la Conquista de la Ciudad de Sevilla por Fernando III, Rey de Castilla y León, Sevilla, Ayuntamiento de Sevilla, Área de Cultura, Sevilla: 85-98.*

PROSPEÇÃO GEOFÍSICA DE VESTÍGIOS DE ESTRUTURAS DO ANTIGO PAÇO REAL DE SÃO FRANCISCO (ÉVORA), COM USO DE GEORRADAR E LASER SCANNER

GEOPHYSICAL PROSPECTION OF ANTIQUE STRUCTURAL TRACES FROM SÃO FRANCISCO (ÉVORA) ROYAL PALACE WITH THE USE OF GEORRADAR AND LASER SCANNER

R. J. Oliveira*

Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora

B. Caldeira

Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora
Departamento de Física, Universidade de Évora

J. F. Borges

Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora
Departamento de Física, Universidade de Évora

RESUMO

No local onde atualmente existe o Palácio de D. Manuel, em Évora, terá existido o Paço Real de S. Francisco, uma das residências da monarquia portuguesa entre o século XVI e XVII. O edifício entrou em declínio em 1616, tendo sido adaptado para outras ocupações, abandonado e destruído por incêndios. Entre este edifício e o mercado existem vestígios arqueológicos, descobertos durante a execução de obras urbanas. O atual edifício foi o resultado de várias alterações sobre o que restou, a última delas na parte frontal da sua fachada, onde foram removidas umas escadas monumentais de que há registo fotográfico. Este trabalho pretende mostrar a existência de vestígios do antigo palácio, integrados nas estruturas que atualmente existem, no âmbito da investigação de metodologias eficazes de aplicação de técnicas geofísicas em Arqueologia. Para concretizar o objetivo, procedeu-se à realização de prospeção geofísica, com georradar, nas áreas adjacentes ao palácio, e com *laser scanner*, de modo a integrar os resultados de georradar numa representação tridimensional do atual edifício. Os resultados evidenciam a existência de estruturas que terão correspondido à escadaria do palácio e de vestígios compatíveis com a opinião de que o palácio se prolongaria para o lado onde existe o atual mercado.

Palavras-chave: Geoarqueologia, geofísica aplicada, georradar, *laser scanner*, processamento de sinal.

ABSTRACT

In the place where currently there is the D. Manuel Palace, in Évora, will have been the Royal Palace of S. Francisco, one of the residences of the Portuguese monarchy between the sixteenth and seventeenth century. The building began to decline in 1616 and has been adapted to other occupations, abandoned and destroyed by fire. Between this building and the market there are archaeological remains, discovered during the execution of urban works. The current building was the result of several changes on what's left, the last one on the front of its facade, which were removed monumental stairs that there is photographic record. This work intends to show the existence of ancient palace remains, integrated into the structures that currently exist within the research effective methods of application of geophysical techniques in Archaeology. To realize the goal, it proceeded to carry out geophysical prospecting with georadar, in areas adjacent to the palace, and with laser scanner, in order to integrate the results of georadar a three-dimensional representation of the current building. The results show the existence of structures that have corresponded to the palace staircase and remains consistent with the view that the palace would be extended to the side where there is the current market.

Keywords: Geoarchaeology, applied geophysics, laser scanner, digital data processing.

* ruio@uevora.pt



Figura 1- Enquadramento geográfico dos edifícios atuais, onde terá existido o Paço Real de S. Francisco.

INTRODUÇÃO

No âmbito das comemorações dos 500 anos da construção do Palácio de D. Manuel, em Évora (antigo Paço Real de S. Francisco), a Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, conjuntamente com a Câmara Municipal de Évora, propuseram ao Instituto de Ciências da Terra (ICT) a realização de uma campanha de prospeção geofísica no edifício do palácio e área envolvente, para averiguar a existência de vestígios do antigo palácio, integrados nas estruturas urbanas atuais. A comemoração da construção do palácio decorreu em 2015 e vem do seguimento da investigação de metodologias eficazes de aplicação das técnicas geofísicas em Arqueologia, a que o nosso grupo de investigação se dedica. A utilização de métodos geofísicos em Arqueologia, para prospeção de estruturas enterradas na subsuperfície, resulta numa importante vantagem, principalmente nas etapas prévias às escavações ou sondagens arqueológicas, onde desempenha um papel importante na delimitação de locais arqueológicos, tornando mais eficazes as ações de proteção do património arqueológico. No que diz respeito ao planeamento de uma exploração arqueológica, os métodos

geofísicos reduzem significativamente o tempo de execução e custos operacionais, orientando com uma exatidão aceitável o arqueólogo para os locais a escavar e sobre o que procurar. O desenvolvimento de metodologias eficazes de prospeção geofísica, para aplicação a diferentes ambientes arqueológicos envolve uma cadeia de procedimentos detalhados, desde a planificação e execução dos ensaios geofísicos até ao processamento de dados e apresentação dos resultados. Para concretizar o objetivo deste trabalho, procedeu-se à realização de prospeção geofísica com georradar, nas áreas adjacentes ao palácio, tendo-se também efetuado o levantamento digital das superfícies exteriores e interiores do palácio, com *laser scanner*, para obtenção de um modelo digital tridimensional, sob a forma de nuvem de pontos, ao qual foram adicionados os resultados da prospeção com georradar.

ENQUADRAMENTO

O local onde existe atualmente o Palácio de D. Manuel (Fig. 1) terá sido uma parte do complexo de edifícios do Paço Real de S. Francisco, que terá sido a residência da monarquia portuguesa entre o séc. XVI e XVII (Pinho Leal, 1990). O conjunto de



Figura 2- Alterações do edifício do Palácio de D. Manuel ao longo do tempo. A escadaria monumental da parte frontal do edifício teve, pelo menos, duas disposições diferentes: saída frontal com bifurcação (lado esquerdo, imagem posterior a 1916, fonte: José Monteiro Serra); e saída lateral numa posição mais recuada (painel superior direito, imagem de um postal de 1906, fonte: Edição Martins). O edifício, antes do incêndio de 1916, possuía dois andares, além do piso térreo (neste, onde atualmente são as arcadas da entrada do edifício, existiam compartimentos (painel inferior direito, fonte: DGEMN/DREMS).

edifícios cobria uma área que ia desde o Palácio de D. Manuel até à Igreja de S. Francisco. À beira da igreja terá existido uma fonte abastecida pelo Aqueduto de Água de Prata, que aí teria uma das suas extremidades. Onde hoje existe o Mercado Municipal e a Universidade de Évora, terão existido edifícios desse complexo. Foram descobertos vestígios arqueológicos dessa época durante as obras de requalificação do mercado e do Largo 1º de Maio. Os edifícios do Paço Real entraram em declínio em 1616, tendo sido adaptado para outras ocupações e tendo sido abandonado e destruído por incêndios (Espanca, 1993). O atual Palácio de D. Manuel sofreu alterações na sua fachada (Fernandes, 2007), como se pode observar na Figura 2. Na parte frontal terão existido

umas escadas monumentais, que foram modificadas, pelo menos duas vezes, até que foram retiradas. Esta imagem, posterior a 1916 (Fig 2, lado esquerdo), será a que mais se aproxima do formato original do palácio.

MÉTODOS GEOFÍSICOS

Georradar

O ensaio de georradar foi realizado em cinco áreas à volta do palácio, tendo-se usado uma antena de 400 MHz (com o equipamento GSSI SIR-3000), cujo alcance pode atingir até cerca de 2,5 m de profundidade, e possui uma resolução horizontal de cerca de 20 cm (tendo em conta a parametrização utilizada: 50 pulsos por metro). As condições de realização do ensaio foram favoráveis à obtenção de bons resultados: piso

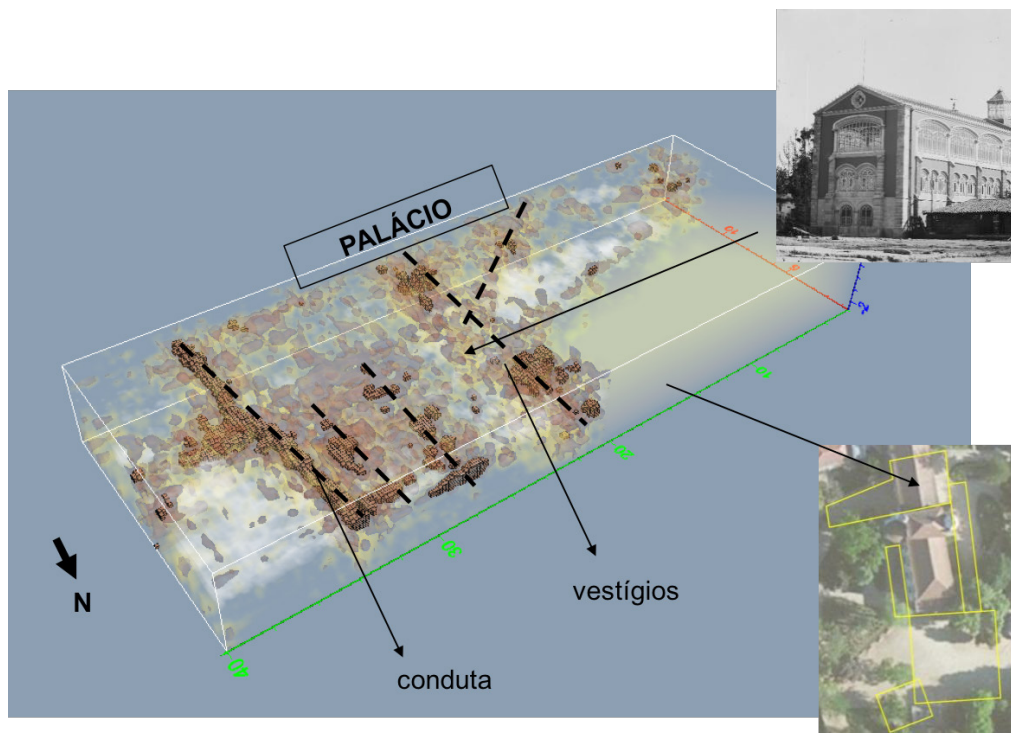


Figura 3- Resultados do ensaio de georradar no setor norte.

regular composto por sedimento não argiloso e com poucos obstáculos, o que permitiu a aquisição de dados em áreas de trabalho com dimensão suficiente para processamento 3D. Os resultados obtidos estão representados em modelos tridimensionais de amplitudes de reflexão, o que permite uma percepção mais facilitada das estruturas que poderão existir em profundidade.

Laser scanner

O levantamento digital das superfícies do palácio, quer do interior quer do exterior, foi realizado com *laser scanner* (*Faro Focus 3D*). No interior foram realizadas 42 aquisições, com uma resolução de 5120 pontos/360°. No exterior foram realizadas 24 aquisições, com uma resolução de 10240 pontos/360°. Os outputs desta técnica permitem recriar uma visita digital ao interior do edifício, motivo pelo qual se decidiu adotar uma resolução diferenciada para o interior e exterior. Permitem também a elaboração de plantas topográficas, úteis para planejar

ações a realizar no edifício, sobretudo quando existem compartimentos que não possuam ângulos retos.

RESULTADOS

Georradar

Os dados obtidos pelos ensaios de georradar foram processados com o programa *GSSI RADAN 7.0*, cujas operações de tratamento consistiram em: correção da posição, remoção do ruído de fundo, filtragem espacial (FIR Length=201) e temporal (IIR LP=800MHz, HP=100MHz), desconvolução (OP. Length=31; Lag=3; PW=10%; GN=4) e aplicação de um ganho exponencial. Após o tratamento de todos os perfis individuais construiu-se o modelo tridimensional de amplitudes de reflexão, que é apresentado para cada área estudada. A representação 3D foi criada no programa *Golden Voxler 3.0*, tendo os dados sido interpolados (pelo método de *kriging*) e foram de seguida representados, dando ênfase às amplitudes que permitem mostrar as estruturas que se encontrarão enterradas na subsuperfície analisada.

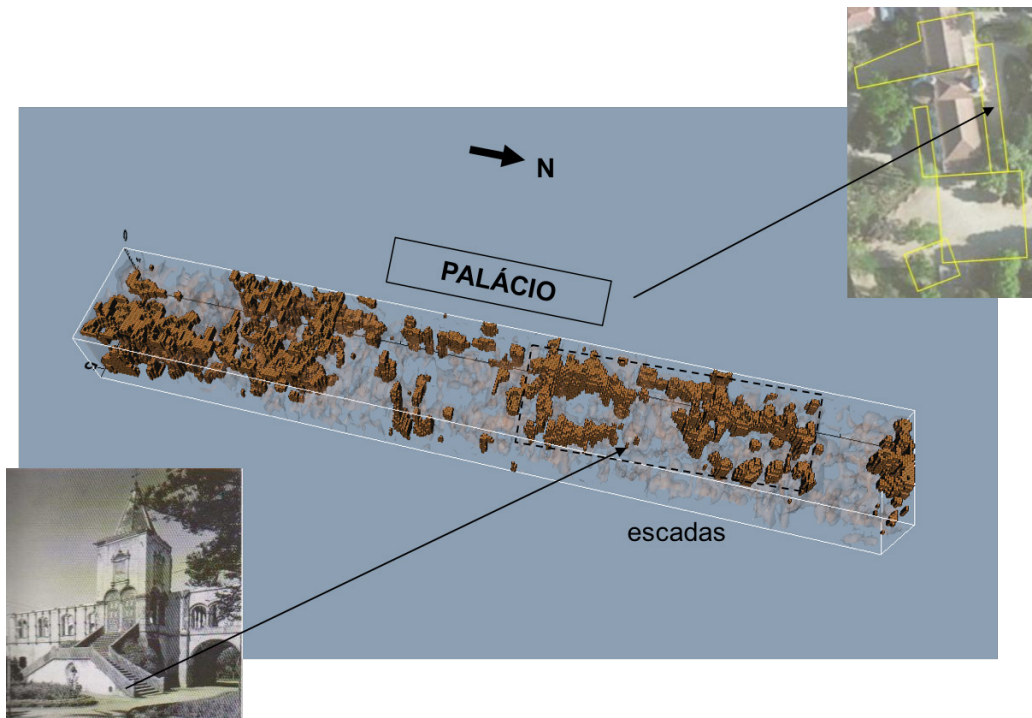


Figura 4- Resultados do ensaio de georradar do setor este.

Os setores que produziram resultados mais sugestivos foram o setor norte e o setor este. No setor norte (Fig. 3), sob as arcadas, observam-se vestígios de estruturas, que parecem prolongar-se em direção ao mercado, que poderão corresponder a vestígios do palácio quando possuía compartimentos no local das atuais arcadas. Também se observa uma conduta de saneamento,

cujas tampas são visíveis à superfície, que serviu para controlo dos resultados.

No setor este (Fig. 4) observa-se vestígios de forma oval, no local onde se pensa que terão existido as escadas da parte frontal do palácio. As dimensões são compatíveis com as que se supõe terem sido as das escadas, tendo em conta o repositório de imagens (Fig. 2).

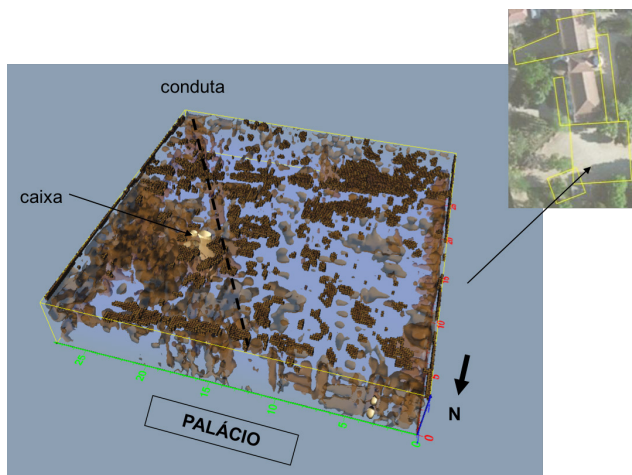


Figura 5- Resultados de georradar no setor sul.

No setor sul (Fig. 5) apenas foi possível identificar uma conduita de cabos elétricos e a respetiva caixa de acesso. Nesta área, pensou-se que poderiam existir vestígios de uma antiga muralha que terá sido desmantelada para construir o Palácio de D. Manuel, no entanto, nada foi descoberto.

Nas restantes áreas (a sul e a oeste) não foi possível observar estruturas, o que poderá significar o seguinte: ou não existem estruturas nestes locais, ou o ensaio foi incapaz de as detetar devido à orientação das linhas de aquisição. Na Figura 6 estão representados todos os resultados do ensaio de georradar, podendo observar-se os alinhamentos dos refletores nas respetivas localizações reais. Podemos observar a localização das escadas, no setor este, e os alinhamentos que deverão corresponder a vestígios de compartimentos do palácio, no setor norte (repare-se que estes se encontram localizados entre os limites do palácio).

Laser scanner

As aquisições foram associadas com o programa *Faro Scene*, tendo-se usado pontos de referência, comuns entre aquisições consecutivas (esferas e alvos).

Nas Figuras 7 e 8 pode observar-se os resultados do ensaio de *laser scanner* (do interior e exterior, respetivamente). A representação mostrada nas figuras não é natural, uma vez que a que se está a visualizar o interior do edifício a partir do exterior (Fig. 7), no entanto permite uma boa imagem global do levantamento. Os resultados deste levantamento permitem visualizar o edifício de qualquer visada, como se se estivesse a sobrevoar o edifício. Chama-se a atenção que esta representação de resultados não é uma imagem aérea, mas sim uma representação a três dimensões, do edifício, obtida pelo *laser scanner*, resultante da junção de todas as aquisições. Outro aspeto importante é a falta da cobertura do palácio que se observa na Figura 8, que se deve ao fato das aquisições que registaram o telhado dos edifícios terem ficado comprometidas devido ao excesso de ruído provocado pela oscilação da plataforma elevatória, nas aquisições aéreas. As restantes aquisições, do exterior e interior, ficaram também com excesso de ruído, provocado pela passagem de pessoas. A ausência de movimento é um cuidado básico que deve ser cumprido, sob a consequência de se obterem



Figura 6- Imagem conjunta do levantamento em georradar, com integração dos níveis a diferentes profundidades.

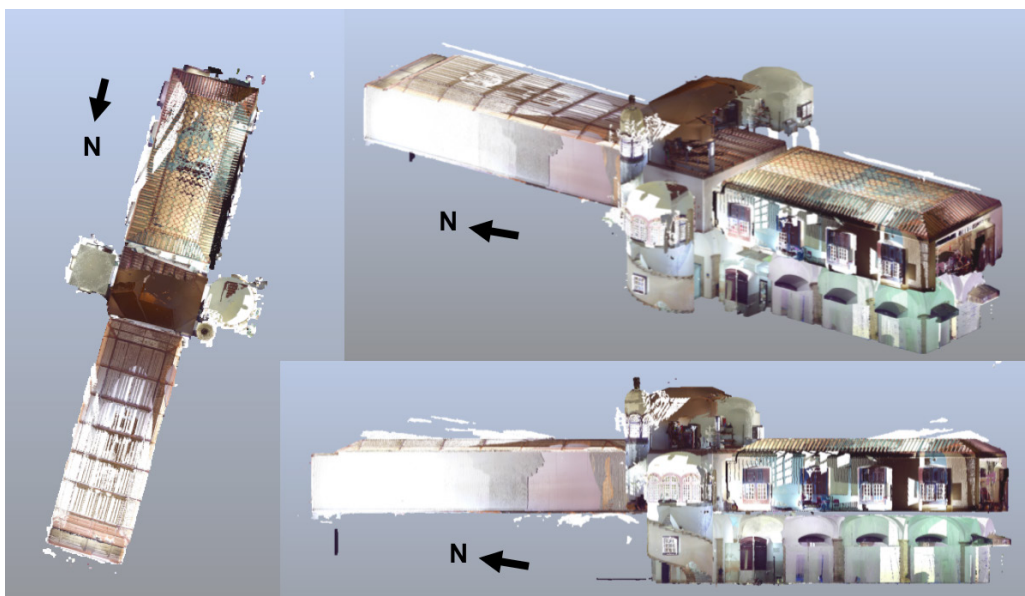


Figura 7- Resultados de *laser scanner* no interior do edifício.

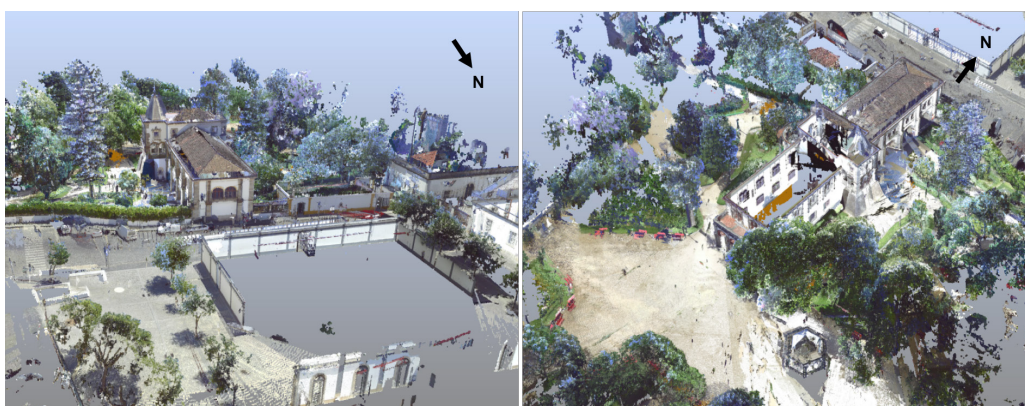


Figura 8- Resultados de *laser scanner* no exterior do edifício.

resultados de qualidade inferior ao esperado, como é o caso deste trabalho.

INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados de georradar foram convertidos em nuvens de pontos para se poderem integrar na representação do modelo 3D das superfícies do palácio (Fig. 9, manchas castanhas), obtida por *laser scanner*, na tentativa de visualizar os vestígios de estruturas antigas enterradas no seio dos edifícios atuais. Nesta fase do trabalho, a integração dos modelos

de georradar e *laser scanner* não está ainda feita da forma mais conveniente para serem observados de forma sugestiva pelos meios de visualização 3D. Para já, o resultado da fusão destas duas metodologias fica ainda aquém do que pode ser possível fazer, no entanto, este procedimento é uma vantagem para os monumentos arqueológicos ainda por escavar ou mesmo ainda por descobrir, para a sua preservação. O uso de técnicas geofísicas permite localizar estruturas e determinar a sua



Figura 9- Integração dos resultados de georradar (manchas castanhas) nos resultados de georradar.

distribuição espacial, de uma forma não invasiva, isto é, sem necessidade de proceder a escavação arqueológica ou a recolha de amostras (Oliveira et al., 2015). Os resultados obtidos podem ser alvo de processamento integrado de imagem, para construir conteúdos e ferramentas de divulgação da herança cultural. Como resultado desta campanha de prospeção geofísica, realizada no âmbito das comemorações dos 500 anos da construção do Palácio de D. Manuel, foi realizado um vídeo ilustrativo dos resultados que é possível obter através da aplicação de métodos geofísicos em contexto arqueológico (Caldeira et al., 2015).

CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados do levantamento de georradar foi possível comprovar a existência de estruturas enterradas nas imediações do atual Palácio de D. Manuel, nomeadamente: no setor este, vestígios das antigas escadas que existiram na parte frontal do palácio; e setor norte, vestígios de estruturas que deverão prolongar-se para o lado do mercado e uma conduta de saneamento.

A partir do levantamento de *laser scanner* obteve-se o Modelo Digital de Terreno de toda a área de estudo: palácio e sua zona envolvente, incluindo o interior do edifício. Esta técnica é bastante útil para integrar os resultados de outros levantamentos geofísicos, como se fez com os dados de georradar, permitindo a sua visualização no contexto de estruturas atuais. A integração dos vários resultados dos métodos geofísicos aplicados a Arqueologia é vantajosa do ponto de vista do planeamento de ações preservação e divulgação do património arqueológico. A aplicação destas duas técnicas aqui descritas é útil para inferir com maior exatidão, sobre a existência de estruturas enterradas, podendo ser uma ferramenta muito prática para para planificação de futuras escavações. O uso destas técnicas permite localizar estruturas, determinar a sua distribuição espacial, sem necessidade de escavação e correlacioná-las com estruturas visíveis à superfície. Os resultados podem ser alvo de operações de processamento de imagem para construir conteúdos/ferramentas de divulgação e promoção da herança cultural para uso geral pela sociedade.

Agradecimentos

Este trabalho foi cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do programa INALENTEJO, no âmbito dos projetos IMAGOS – Innovative Methodologies in Archaeology, Archaeometry and Geophysics – Optimizing Strategies, e APOLLO – Archaeological and Physical On-site Laboratory – Lifting outputs (ALENT-07-0224-FEDER-001760), da Universidade de Évora, e teve o apoio do Laboratório HERCULES, Instituto de Ciências da Terra, Escola de Ciências e Tecnologia, Escola de Artes (Universidade de Évora) e da Câmara Municipal de Évora (CME). Um agradecimento ao Arqueólogo Gustavo Val-Flores e à Dr.^a Cármen Almeida, da CME, pela colaboração empenhada.

BIBLIOGRAFIA

- Caldeira, B., Borges, J. F. & Oliveira, R. J. 2015. *Vídeo comemorativo dos 500 anos da construção do Palácio de D. Manuel (Évora)*, apresentado no espaço da Universidade de Évora na Feira de S. João 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RaipVqHPQ-U>
- Espanca, T. 1993. *Évora*. Lisboa.
- Fernandes, M. 2007. *S. Francisco de Évora - A igreja e a Galeria das Damas, o que resta de um Paço Real*. Monumentos n.º 17, DGEMN, 89-95.
- Oliveira, R. J., Neves, S., Caldeira, B., Borges, J. F. & Teixidó, T. 2015. «Desenvolvimento de Metodologias eficazes de Prospecção Geofísica Aplicadas a diferentes Ambientes Arqueológicos: o caso de Horta da Torre (resultados preliminares)». *Workshop de Ciências da Terra e do Espaço 2015*, 107-114.
- Pinho Leal, A. 1990. *Portugal antigo e moderno: diccionario geographico, estatistico, chorographico, heraldico, archeologico, biographico e etymologico de todas as cidades, villas e freguezias de Portugal e de grande numero de aldeias...* Livraria Editora de Mattos Moreira & C.^ª, Lisboa.

ENSAYOS DE TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA POLICROMÍA DEL ALFARJE Y YESERÍAS DEL PATIO DE LAS DONCELLAS, REAL ALCÁZAR DE SEVILLA.

TREATMENTS TESTS FOR PROTECTION AND CONSOLIDATION OF THE POLYCHROMY OF THE ALFARJE AND YESERÍAS OF THE DONCELLAS PATIO, ROYAL ALCÁZAR OF SEVILLA.

A.I. Calero

Departamento de Pintura. Facultad de BBAA.
Universidad de Granada

A.C. Coba

Departamento de Pintura. Facultad de BBAA.
Universidad de Granada

F.J. Collado Montero

Departamento de Pintura. Facultad de BBAA.
Universidad de Granada

V.J. Medina Flórez

Departamento de Pintura. Facultad de BBAA.
Universidad de Granada

RESUMEN

El trabajo que se presenta pone de manifiesto la metodología llevada a cabo para la valoración de tratamientos, en lo que a color se refiere, aplicados sobre probetas de ensayo realizadas a partir de los materiales identificados en dos elementos arquitectónicos decorativos de la zona sur-este de uno de los patios más significativos del Alcázar de Sevilla: el Patio de las Doncellas. Estos elementos que tenemos como motivo de estudio son el alfarje de las galerías bajas y el paramento de yeso. Los tratamientos seleccionados para ser evaluados consisten, en el caso del alfarje en la aplicación de un barniz de protección con estabilizador de radiación ultravioleta (Archival Golden®), y en el caso de las yeserías de aplicación de dos tratamientos de consolidación: resina acrílica (Paraloid®B72) y silicato de etilo (Bioestel®1200). Los resultados obtenidos servirán de base para la elección de una propuesta de intervención óptima que incluya la posible utilización del barniz ultravioleta en el alfarje *in situ* así como el efecto que podrían tener los tratamientos de consolidación en las policromías de las yeserías. De esta forma contribuimos al conocimiento previo del comportamiento de los materiales antes de abordar la restauración de la decoración arquitectónica de este espacio o de otras obras de similar cronología con problemáticas similares.

Palabras clave: Alfarje, Yeserías, Estabilizador UV, Consolidación, Real Alcázar de Sevilla

ABSTRACT:

The work presented shows the methodology conducted for evaluating treatments, in what concerns color, applied on test specimens made from the materials identified in two decorative architectural elements of the south-east one of the most important courts of the Alcazar of Seville: courtyard of the Maidens. These elements we have as a subject of study are the paneled ceiling of the lower galleries and the wall plaster. The treatments selected for evaluation consist in the case of alfarje in applying a protective varnish with ultraviolet radiation stabilizer, and in the case of plasterworks, applying two consolidation treatments: Paraloid®B72 and Ethyl Silicate (Bioestel®1200). The results will form the basis for choosing an optimal intervention proposal that includes the possible use of UV varnish on the paneled ceiling and the effect that could have treatments consolidation of polychrome plasterwork. In this way, we contribute to the prior knowledge of the behavior of materials before boarding the restoration of the architectural decoration of this space or other works of similar chronology with similar problems.

Keywords: Paneled ceiling, Plasterwork, UV Stabilizer, Consolidation, Real Alcazar of Seville.

INTRODUCCIÓN

El conjunto palatino del Real Alcázar de Sevilla constituye uno de los espacios arquitectónicos más emblemáticos que se conservan en la ciudad, incluido en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en el año 1987.

La función de este palacio como vivienda permanente de los monarcas españoles ha contribuido a su conservación pero también a que haya sido muy modificado a lo largo del tiempo. Es por ello que resulte de especial interés en el ámbito de la investigación en diversas disciplinas como son la arqueología, la arquitectura, la historia del arte y en el caso que nos ocupa, la conservación y la restauración. Son varios los trabajos llevados a cabo por nuestro grupo de investigación en uno de los palacios que constituyen el conjunto, el palacio de Pedro I también conocido como Palacio Mudéjar, construido entre los años 1356-1366 (Rodríguez-Moreno 2011). Entre ellos destacan el trabajo en curso sobre la decoración arquitectónica del Patio de las Doncellas que abarca los paramentos de yeso, el alfarje de madera y los alicatados (Fig.1 y 2) (Calero-Castillo et al 2011 e Collado-Montero et al 2015), y el ya finalizado sobre estudio completo de la fachada de dicho palacio (López Cruz et al 2011). Estos trabajos se caracterizan por centrarse en el conocimiento de los materiales originales de la decoración arquitectónica original (pigmentos y aglutinantes), así como en la puesta a punto de una metodología adecuada para preservarlos y evitar su pérdida definitiva (tratamientos y métodos de aplicación). El análisis de los pigmentos y aglutinantes originales de estas decoraciones resulta especialmente complejo, como se ha puesto de manifiesto en investigaciones precedentes realizadas por el equipo (Cuarto Real de Santo Domingo, Alhambra y Oratorio de la Madraza en la ciudad de Granada, la mezquita de Fiñana en Almería o la Fachada del Palacio de Pedro I), fundamentalmente debido a las intervenciones de repolicromado que se realizan sobre las mismas que ocultan los materiales originales y que en ocasiones provocan su desaparición. En la mayor



Figura 1- Patio de las Doncellas.

parte de los casos la rica policromía de estas decoraciones estaba conformada por pigmentos naturales de una gran calidad como azurita, malaquita, cinabrio, tierras (roja y amarilla) y láminas de oro entre otros, que en periodos sucesivos se ocultan por encalados o pigmentos de menor calidad y en periodos más recientes, materiales industriales. Por este motivo resulta esencial el estudio pormenorizado de los materiales originales de las decoraciones de este periodo para su conocimiento, hoy en día aún muy poco conocido, así como para la selección de los tratamientos y métodos de aplicación más adecuados para su preservación (García Bueno 2015). El presente artículo muestra la metodología seguida en el estudio del alfarje de las galerías bajas y yeserías del patio de las Doncellas. Dicho estudio se centra en la evaluación previa a la aplicación *in situ* de tratamientos de restauración seleccionados en función de las alteraciones más significativas que presentan ambos elementos arquitectónicos, y aplicados



Figura 2- Alfarje y yeserías del Patio de las Doncellas, coincidente con la puerta de acceso al Salón del Techo de Carlos V.

en probetas de color identificativas de los materiales presentes. A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de los tratamientos, se podrá realizar una propuesta de intervención segura y con carácter positivo que implique la utilización de los mismos en la obra real.

OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de esta investigación que se presenta son los siguientes:

- Realizar probetas de ensayo identificativas de los materiales característicos de la decoración arquitectónica en las yeserías y el alfarje del Patio de las Doncellas, así como de decoraciones de similar tipología.
- Determinar los tratamientos a ensayar sobre las probetas identificativas.
- Determinar las condiciones de ensayo del ciclo de envejecimiento de 12 meses y las mediciones de control.
- Establecer el ensayo de colorimetría

que permita valorar los cambios que se producen con el ciclo de envejecimiento.

- En definitiva, el objetivo de este artículo es presentar la metodología llevada a cabo para la valoración de tratamientos, en lo que a color se refiere, aplicados sobre probetas de ensayo realizadas a partir de dos elementos arquitectónicos decorativos de la zona sur-este del patio.

METODOLOGÍA:

La metodología que se ha llevado a cabo en esta investigación ha sido la siguiente:

Mapeo y toma de muestras: El trabajo desarrollado *in situ* ha permitido la recogida de una serie de micromuestras de las zonas más representativas del alfarje y yeserías con el objetivo de ser analizadas y caracterizar así, en la medida de lo posible, los materiales presentes en sus policromías (Fig.3). Esta toma de muestras ha sido controlada de manera minuciosa a



Figura 3- Toma de muestras.

través de la señalización de las mismas en el levantamiento gráfico realizado (Fig.4).

- **Análisis de muestras mediante técnicas instrumentales:**

Las muestras extraídas han sido analizadas a partir de diferentes técnicas instrumentales. Para la identificación de aglutinantes y barnices, se ha utilizado la espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier y cromatografía de gases. En el caso de la identificación de pigmentos, se ha utilizado el microscopio estereoscópico para un primer análisis visual con el

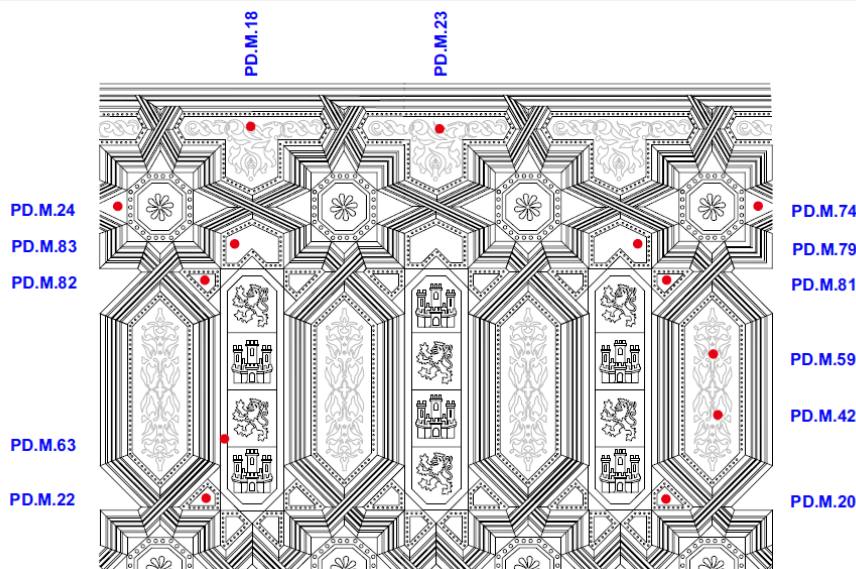


Figura 4- Mapeo de muestras de la zona del alfarje de las galerías bajas.

objetivo de seleccionar las muestras con mayor información y, posteriormente se han preparado láminas delgadas- pulidas que se analizaron por microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX). Por último, en el caso de las muestras recogidas del paramento en yeso, se ha analizado una selección de ellas por difracción de Rayos X con el objetivo de identificar los materiales que componían el mortero. En el caso del alfarje se han tomado 15 muestras para ser analizadas, de las

que 4 se han utilizado para el análisis de aglutinantes. Por otra parte, en el caso del paramento de yeso, se han seleccionado un total de 65 muestras. De entre ellas se han utilizado 18 muestras para el análisis de difracción de Rayos X y 44 muestras para el análisis de pigmentos de las que 3 han sido destinadas para el análisis de aglutinantes.

- **Revisión documental:** Ha sido una parte fundamental del trabajo consultándose para la misma, estudios de obras de similar cronología. De destacar el realizado en

la Fachada de Pedro I, puesto que al presentar tanto decoraciones en yeso como en madera, nos ha permitido establecer comparaciones y detectar similitudes y diferencias en lo que a materiales presentes se refiere.

Elaboración de probetas: En base a los materiales identificados a partir del análisis de muestras correspondientes tanto en las yaserías como en el alfarje del patio, se han realizado probetas identificativas que se han adaptado en la medida de lo posible a la normativa internacional vigente (Comission Internationale de l'Eclairage (CIE) 2004 e International Organization for Standardization (ISO) 1976).

- Determinación de las condiciones

del ensayo: La evaluación del ensayo se realizará a partir de la respuesta de las probetas sometidas a un ciclo de envejecimiento de 12 meses. En este ciclo de envejecimiento, una serie de probetas serán expuestas a envejecimiento natural externo con un seguimiento exhaustivo de los fenómenos atmosféricos (*precipitaciones, temperatura, humedad, radiación ultravioleta, irradiancia sobre superficie horizontal, dirección y velocidad del viento*), mientras que otra serie de probetas exactamente iguales pero con carácter de control, estarán en unas condiciones estables de humedad y temperatura en armario estanco interior también controladas por los correspondientes sensores. Con ello, una vez finalizado el ciclo de envejecimiento, podremos establecer diferencias a nivel físico entre las probetas envejecidas y las probetas de control¹.

¹ La estación de envejecimiento diseñada para este trabajo está compuesta por los siguientes equipos:

- Piranómetro LP PYRA 02AV (DELTA OHM).
- Anemómetro 6410.
- Sensor de radiación UV.
- Sensor de temperatura y humedad relativa. En el caso de la temperatura presenta un rango de -30°C a 50°C y una precisión de $\pm 0,3^\circ\text{C}$ a 25°C. En lo referente a humedad, el rango es de 0 a 100% y una precisión de $\pm 2\%$.
- Campana anti-radiación.

- Aplicación de tratamientos de restauración seleccionados:

- o Alfarje: En el caso del alfarje de las galerías bajas el tratamiento seleccionado para este ensayo ha sido un barniz acrílico satinado en aerosol a base de alcoholes minerales con estabilizadores de luz ultravioleta².
- o Yaserías: En el caso de las yaserías se han seleccionado dos tratamientos de consolidación que tradicionalmente se han aplicado en este tipo de obras. Por una parte, una resina acrílica (metilacrilato-etilmetacrilato) cuyo nombre comercial es Paraloid®B72 y, por otra parte, un silicato de etilo, de nombre comercial Bioestel®I200.³

- Medición del color previa al envejecimiento

El procedimiento que se ha seguido se basa en la toma de tres medidas individuales, y cálculo del promedio, en cada una de los acabados cromáticos, para determinar los valores CIELAB correspondientes (CIE 1976 L*, a*, b*, C*ab, hab), e índice de color Munsell (valor más próximo al valor CIELAB calculado) [7, 8]. En las tablas obtenidas se muestran los valores (L*), (C*ab) y (hab) de cada muestra, así como los valores promedio (AVG), de desviación estándar (SD), máximo (máx.) y mínimo (mín.). Asimismo, se han calculado las diferencias de color, según la fórmula de diferencia de color CIEDE2000, recomendada por la CIE como estándar (Huang et al., 2012), entre las muestras consideradas como patrones (antes del envejecimiento y después del envejecimiento) y las consideradas muestras de ensayo (sin tratar) con las muestras tratadas (Fig.5).

² Este barniz pertenece a la casa comercial ARCHIVAL GOLDEN en formato de 400 ml.

³ Ambos de la casa comercial CTS, se han aplicado en dos capas por impregnación con brocha interponiendo papel japonés en concentración del 5%.



Fig. 5. Medición efectuada sobre uno de los acabados policromos de las probetas de yeso antes del ciclo de envejecimiento.



Figura 6- Colocación de las probetas de yeso en el bastidor metálico para su envejecimiento exterior.

El equipo empleado para las medidas de color ha sido un espectrofotómetro portátil Kónica- Minolta CM-2600D13 de acuerdo con las siguientes condiciones de medición: geometría de iluminación difusa y detección a 8°, con componente especular incluida (di: 8), área de apertura del instrumento de 8 mm, observador patrón CIE 1964 (10°) e iluminante patrón CIE D65. Para la gestión de los datos colorimétricos se ha empleado el Color Data Software CM-S100W Spectramagic™ NX Pro de Konica Minolta.

-Colocación de las probetas de ensayo en la estructura de envejecimiento y monitorización. Una vez realizadas las probetas de ensayo para el estudio, se ha procedido a su colocación en el dispositivo de envejecimiento exterior como interior (Fig.6 y 7) y se ha iniciado la motorización de las mismas a partir de un software diseñado por la empresa SENSONET, el cual registra las mediciones diarias y mensuales a las que están sometidas las probetas a estudiar.



Figura 7- Imagen de las probetas de madera colocadas para su envejecimiento exterior. Como se puede observar, en ambos casos se sitúan reproduciendo las características de su situación en obra real.

RESULTADOS

- Resultados del análisis de muestras del Alfarje: El estudio de las muestras extraídas del conjunto a partir de las diversas técnicas instrumentales ha permitido conocer los materiales que componen la policromía del alfarje de las galerías bajas (Tabla 1) (Fig.8, 9, 10 y 11).

Tabla 1- Resultados de materiales obtenidos a partir del análisis de muestras correspondientes a la policromía del alfarje mediante técnicas instrumentales

CAPA DE PREPARACIÓN	PIGMENTOS	AGLUTINANTES	CAPAS METÁLICAS	BARNICES
Carbonato cálcico+ aceite de linaza+ blanco de plomo Sulfato cálcico+ caolín + cola animal	Blanco de plomo Rojo de plomo Cinabrio Bermellón Amarillo de plomo Amarillo de cromo Óxidos de Fe Azurita natural Azurita artificial Azul ultramar Azul de Prusia Malaquita natural Verde de Cromo Verde esmeralda	Aceite de linaza Huevo Goma arábica	Dorado al mixtión Dorado al agua	Resina de almáciga Resina de colofonia.
CAPA DE PREPARACIÓN	PIGMENTOS	AGLUTINANTES	CAPAS METÁLICAS	BARNICES
Carbonato cálcico+ aceite de linaza+ blanco de plomo Sulfato cálcico+ caolín + cola animal	Blanco de plomo Rojo de plomo Cinabrio Bermellón Amarillo de plomo Amarillo de cromo Óxidos de Fe Azurita natural Azurita artificial Azul ultramar Azul de Prusia Malaquita natural Verde de Cromo Verde esmeralda	Aceite de linaza Huevo Goma arábica	Dorado al mixtión Dorado al agua	Resina de almáciga Resina de colofonia.



Figura 8- Superior izqda. Diferentes estratos que componen una muestra tomada de la zona del friso con decoración epigráfica donde se aprecia sucesiva intervenciones a lo largo su historia. Microscopio óptico con luz reflejada.

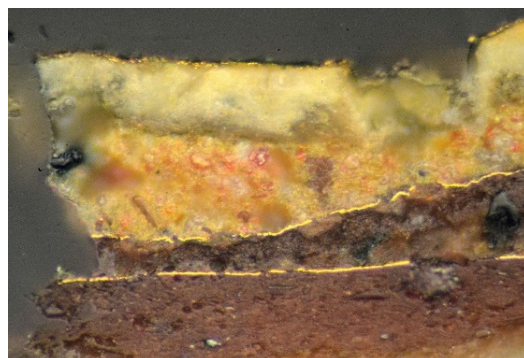


Figura 9- Superior dcha. Sucesión de estratos separados entre ellos por una lámina de oro, lo que indica que en esta zona decorativa del alfarje se produjeron tres intervenciones de saneamiento de dorado. Microscopio óptico con luz transmitida.

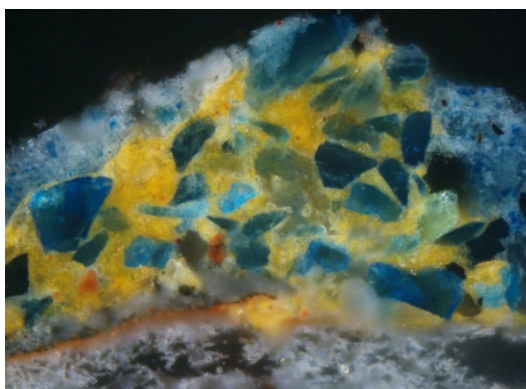


Figura 10- Inferior izqda. Identificación del pigmento azurita de origen natural determinado por la morfología de grano, acompañado de amarillo de cromo. Imagen de microscopio óptico con luz reflejada. Pigmentos identificados mediante SEM-EDX.

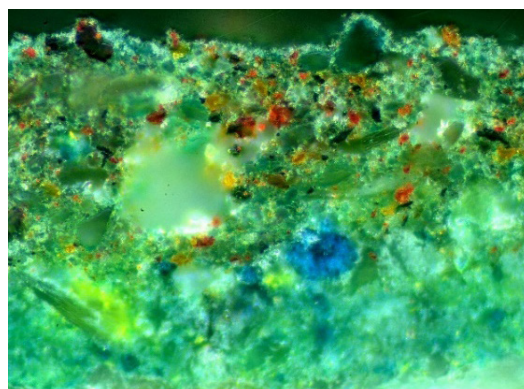


Figura 11- Inferior dcha. Mezcla de diferentes pigmentos para la consecución de tonalidades verdes correspondientes a la policromía de las almendrillas que componen el alfarje. Se trata de mezcla de verde de cromo, aluminosilicatos, óxidos de hierro y azul ultramar; todos ellos identificados mediante SEM-EDX. Imagen de microscopio óptico con luz reflejada.

Resultados del análisis de muestras de las Yeserías:

El estudio de las muestras extraídas del conjunto a partir de las diversas técnicas instrumentales ha permitido conocer los materiales que componen las yeserías del muro

sur-este localizadas en la Puerta de Acceso al Salón del Techo de Carlos V, los frisos superior e inferior, la ventana occidental y la puerta pequeña o de escape (Tabla 2) (Fig.12, 13, 14 y 15).

Tabla 2: Resultados de materiales obtenidos a partir del análisis de muestras correspondientes a la policromía de las yeserías mediante técnicas instrumentales

SOPORTE	PIGMENTOS	AGLUTINANTES	CAPAS METÁLICAS	OTROS
Componente mayoritario de yeso (Ca SO4H2O) que en el caso de tres muestras llegó a ser de un 100%. En segundo lugar el componente identificado fue la calcita (CaCO3). Por último, la presencia de cuarzo (SiO2), en proporción minoritaria, en torno a un 100% de valor máximo.	Azurita natural Malaquita natural Rojo de plomo Cinabrio/ Bermellón Óxidos de Fe Blanco de plomo Verde esmeralda Amarillo de Cromo Amarillo de Pb Azul ultramar artificial Azurita artificial	Cola animal	Oro fino con + o - porcentaje de impurezas aplicado al mixtión generalmente sobre capas de preparación con amarillo de cromo y amarillo de plomo.	Resina de colofonia. Aceite de linaza.

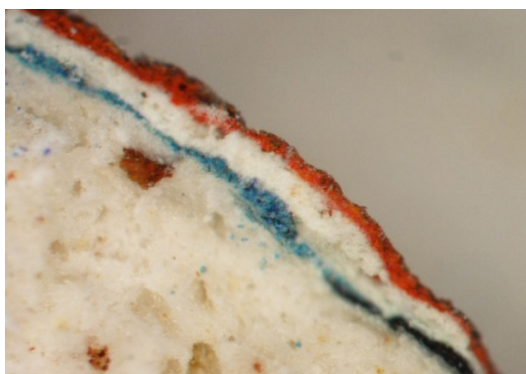


Figura 12- Superior izqda. Sucesión de estratos en los que se identifica que se cambia la policromía en distintas épocas. Microscopio estereoscópico.

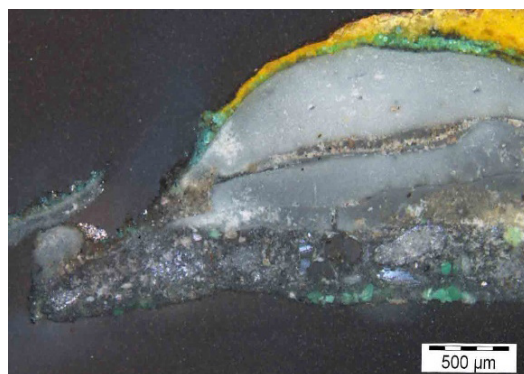


Figura 13- Superior dcha. Sucesión de estratos en una de las muestras localizada en las celosías del arco. El estudio de esta muestra permitió la identificación de 8 estratos entre los que se suceden pigmentos originales como la malaquita en la zona inferior, sucesivos encalados, pigmentos industriales del tipo verde esmeralda y una capa metálica sobre una base de amarillo de cromo y plomo. Microscopio electrónico.

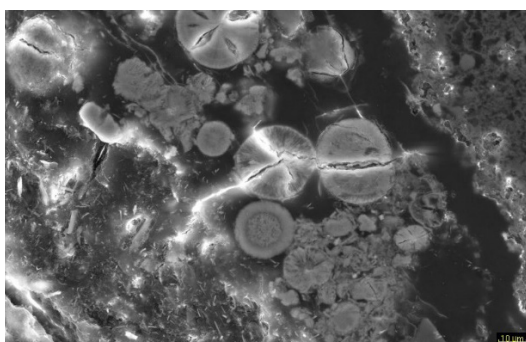


Figura 14- Inferior izqda. Identificación del pigmento verde esmeralda por la presencia de formas esferulíticas. Imagen de SEM.



Figura 15- Inferior dcha. Impregnación de aceites y resinas en las muestras lo que dificulta la identificación de los estratos originales y los añadidos en épocas posteriores

- Resultados de la documentación bibliográfica

La revisión documental ha permitido conocer parcialmente las intervenciones históricas que se han sucedido en esta zona. A pesar de que existe información abundante y acerca de las transformaciones arquitectónicas del Patio, entre las que destaca el cambio definitivo de su fisonomía tras el enlosado del jardín mudéjar deprimido de la obra original, no sucede lo mismo

con las transformaciones producidas en la decoración arquitectónica, donde la documentación es menos detallada acerca de la naturaleza de los cambios y de su transformación. A pesar de ello, se ha podido constatar que se producen intervenciones prácticamente desde la realización de estas decoraciones. Si bien hasta el S. XIX, estas transformaciones parecen ser de carácter puntual reduciéndose probablemente a reparar

zonas dañadas o pérdidas localizadas, a partir de esta fecha se recogen referencias que indican una mayor actividad. En el caso del alfarje se detectan informes completos de reparación de las galerías y techumbres, mientras que en el caso de las yeserías existen documentos que refieren una posible restauración historicista de los paramentos con el encalado de las yeserías y posterior repolicromado adaptándose a la moda de diferentes periodos.

- **Realización de probetas:** Tanto para el estudio de los tratamientos de las yeserías como del alfarje, se han realizado probetas identificativas de la policromía a partir de los materiales identificados en estas zonas, a los que se añaden en casos puntuales materiales no identificados en este estudio pero que, se suelen encontrar en obras de similar tipología. De esta manera los resultados que se obtengan de la investigación no son solo aplicables a esta zona concreta, sino extensibles a otras zonas del conjunto y obras de similar cronología. En ambos casos, debido a la sucesión de intervenciones ya comentadas, se han realizado dos tipos de probetas: una serie de probetas representativa de los materiales históricos y una serie de probetas identificativa de los materiales modernos que son los materiales que se aplican en periodos sucesivos al original.

- **Probetas que reproducen la policromía del alfarje:**

En este caso se han aplicado dos tipos de preparaciones, una de ellas a base de sulfato cálcico, cola animal y compuestos minoritarios de arcilla que se atribuye a los tipos de materiales históricos de intervenciones tempranas; y otra compuesta por carbonato cálcico, blanco de plomo y aceite de linaza, atribuida a los materiales de intervenciones recientes. Sobre esta capa se han aplicado los distintos pigmentos aglutinados, de los cuales se han seleccionado tres aglutinantes (cola animal, aceite de linaza y goma arábiga) aplicados con los siguientes pigmentos: blanco de plomo, azurita natural, cinabrio natural, ocre

natural, malaquita natural y rojo de plomo, correspondiéndose éstos con los materiales de carácter histórico. En el caso de los pigmentos atribuidos a las intervenciones recientes, se han seleccionado blanco de plomo, azurita artificial, ultramar artificial, bermellón, amarillo de cromo, amarillo de plomo y azul de Prusia. Para finalizar, se han aplicado dos barnices identificados, tratándose de resina de almáciga en el caso de los materiales históricos y resina de colofonia en el caso de los materiales correspondientes a intervenciones más actuales.

En cuanto a los acabados metálicos, en el caso de los materiales históricos se ha aplicado oro fino mediante dos métodos: resina de almáciga o a la sisa, y al agua con bol rojo y cola de pescado. Sin embargo, en el caso de los materiales modernos solo se ha aplicado un método de dorado basado en oro fino sobre resina de colofonia. En total, se han realizado 56 probetas que reproducen la policromía del alfarje, clasificándose en 40 probetas identificativas de los materiales históricos (De las cuales 20 probetas son para envejecimiento interior y 20 para envejecimiento exterior) y 16 probetas identificativas de los materiales modernos (De las cuales 8 probetas son para envejecimiento interior y 8 para envejecimiento exterior) (Fig.16, 17, 18, 19) La superficie policroma de cada una de las probetas se ha dividido en dos zonas, una zona donde se ha aplicado el barniz identificado en las muestras y otra zona que se deja sin barnizar. A su vez estas dos zonas se vuelven a dividir en dos, aplicando en una de ellas el filtro con estabilizador ultravioleta, dando como resultado 4 zonas que combinan el barniz identificado y el filtro ultravioleta (Fig. 20)



Figura 16- Superior izquierda. Probetas a partir de materiales históricos con aglutinante de aceite de linaza.

Figura 17- Superior derecha. Probetas a partir de materiales de intervenciones recientes con aglutinante de aceite de linaza.

Figura 18- Inferior izquierda. Probetas a partir de materiales históricos con aglutinante de goma arábica.

Figura 19- Inferior derecha. Probetas a partir de materiales históricos con aglutinante de huevo.

<p>Zona 1: Sin barniz identificado Sin filtro UV</p>	<p>Zona 2: Con barniz identificado Sin filtro UV</p>
<p>Zona 4: Sin barniz identificado Con filtro UV</p>	<p>Zona 3: Con barniz identificado Con filtro UV</p>

Figura 20- Estructura de cada una de las probetas sometidas a ensayo.

Probetas que reproducen la policromía de las yeserías.

En el caso de la policromía de las yeserías se han realizado 36 probetas identificativas de los materiales históricos (Fig.21). (De las cuales 9 probetas son probetas control y 27 para envejecimiento exterior) y 24 probetas identificativas de los materiales modernos (Fig.22) (De las cuales 6 probetas son probetas control y 18 para envejecimiento exterior) lo que da un total de 60 probetas sometidas a ensayo.

PROBETA 2.0		PROBETA 2.1		PROBETA 2.2		PROBETA 2.3	
Ocre	Malaquita	Ocre	Malaquita	Ocre	Malaquita	Ocre	Malaquita
Cola animal Probeta de muestra interior		Cola animal Probeta de muestra exterior		Cola animal Resina acrílica		Cola animal Silicato de etilo	

Figura 21- Esquema representativo de las probetas de ensayo identificativo de los materiales históricos. En cada una de las probetas sometidas a ensayo se aplican dos acabados cromáticos con el objetivo de valorar un mayor número de pigmentos.

PROBETA 4.0		PROBETA 4.1		PROBETA 4.2		PROBETA 4.3	
Azurita	Ultramar	Azurita	Ultramar	Azurita	Ultramar	Azurita	Ultramar
Probeta de muestra interior		Probeta de muestra exterior		Resina acrílica		Silicato de etilo	

Figura 22- Esquema representativo de las probetas de ensayo identificativo de los materiales modernos.

En el caso de los materiales históricos, se han seleccionado dos aglutinantes (cola animal y goma arábica) aplicados con los siguientes pigmentos: azurita natural, cinabrio natural, ocre natural, malaquita natural, rojo de plomo y cinabrio, y bermellón. Por otra parte, en el caso de los pigmentos identificativos de los materiales modernos, se han seleccionado azurita artificial, ultramar artificial, mezcla blanco de plomo y ultramar artificial, blanco de plomo, amarillo de cromo, amarillo de plomo, azul de Prusia, mezcla de azul ultramar artificial, azul de Prusia y blanco de titanio aglutinados con aceite. Respecto a los acabados metálicos, en el caso de los materiales históricos se ha seleccionado oro falso y oro fino, ambos sobre resina de almáciga o a la sisa; y en el caso de los materiales modernos oro falso y oro fino sobre amarillo de cromo y resina de colofonia (Fig.23).

- Mediciones iniciales de las probetas sometidas a ensayo tras la aplicación de los tratamientos. Las mediciones realizadas antes de someter las probetas de ensayo a envejecimiento exterior, ha permitido conocer los valores iniciales que presenta cada una de las probetas a ensayar, que servirán con posterioridad como muestra patrón a partir de los cuales establecer los cambios que se producen con el ciclo de envejecimiento de 12 meses (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 3- Ejemplo de valores CIELAB (iluminante D65/observador patrón CIE 1964) obtenidos de la muestra de color de la probeta en madera de azurita aglutinada con goma arábica.

Muestra		L*	a*	b*	C _{ab}	h _{ab}
(PH)ga.4	SB/SF	49.1	-7.8	-14.7	16.7	242.0
(PH)ga.4	SB/CF	31.6	-5.2	-13.9	14.9	249.4
(PH)ga.4	CB/SF	33.1	-4.5	-16.8	17.4	255.1
(PH)ga.4	CB/CF	30.2	-5.5	-13.4	14.5	247.6



Figura 23- Probetas tipo identificativas de los materiales modernos e históricos empleadas para el ensayo.

Tabla 4: Ejemplo de valores CIELAB (iluminante D65/observador patrón CIE 1964) obtenidos sobre las muestras de color de la probeta en yeso de azurita aglutinada con cola animal sin capa de protección y con capas de protección de resina acrílica (ParaloidB72) y Silicato de etilo (Bioestel 1200).

Muestra	L*	a*	b*	C _{ab}	h _{ab}
1.1.AZ.CA.ME	37.5	-1.1	-27.7	27.7	267.7
1.2.AZ.CA.P	31.5	-1.1	-24.1	24.1	267.4
1.3.AZ.CA.S	37.0	-1.9	-26.2	26.3	265.8

CONCLUSIONES

- El análisis de muestras efectuado ha permitido conocer los materiales presentes en una zona concreta ambos revestimientos. De este modo se ha podido conocer que la policromía original (en capas profundas) estaba compuesta por pigmentos de una gran calidad como la azurita natural, malaquita natural, el rojo de cinabrio y rojo de plomo así como la presencia de tierras compuestas por óxido de hierro de diversas tonalidades. Además en el caso del alfarje ha podido identificarse la presencia de láminas de oro y de plata en capas profundas, empleadas para zonas decorativas concretas. Sobre este estrato original se distinguen sucesivas intervenciones en la que destaca distintos repintes realizados con pigmentos propios de la revolución industrial como el verde esmeralda, el amarillo de cromo, el azul ultramar o el de Prusia, todos ellos sintetizados en el s. XIX; así como un encalado generalizado en el caso de las yaserías.

- El trabajo de campo ha permitido conocer el estado de conservación actual de la policromía. En el caso del alfarje el principal problema radica en la evidente pérdida y desvanecimiento de la policromía a causa de agentes de deterioro como la luz, la humedad y el biodeterioro entre otros. Por otra parte, en lo que se refiere a las yaserías las intervenciones sucesivas (repolicromados y encalados) unido a la presencia de humedad en el patio han derivado

en la descohesión y disgregación de la capa pictórica, por lo que en ambos casos es necesaria la puesta a punto de un tratamiento y método de aplicación que garantice su conservación y evite su pérdida definitiva.

- La estación meteorológica diseñada para el control de los condicionantes ambientales aportará información precisa acerca de las condiciones concretas a las que han estado sometidas las probetas y su respuesta a los diferentes tratamientos. De esta forma, con el ciclo de envejecimiento natural propuesto para las probetas de ensayo se podrá comprobar el comportamiento, en cuanto a colorimetría se refiere, de los tratamientos de restauración aplicados en ambas tipologías de probetas.

- Los resultados obtenidos servirán de base para la elección de una propuesta de intervención óptima que incluya la posible utilización del barniz ultravioleta en el alfarje *in situ*, así como el efecto que podrían tener los tratamientos de consolidación en las policromías de las yaserías y en consecuencia la elección del método más adecuado.

- De esta forma contribuimos al conocimiento previo del comportamiento de los materiales antes de abordar la restauración de la decoración arquitectónica de este espacio o de otras obras de similar cronología con problemáticas similares.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las instituciones y organismos públicos que han financiado este proyecto.

- Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del Proyecto de Investigación "Estudio científico y tratamientos de conservación de revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval" de

referencia (HAR2015-66139-P) así como el proyecto del Ministerio de Innovación y Ciencia denominado "Decoración arquitectónica de tradición islámica. Materiales y técnicas de ejecución" (HAR 2011-27598). Igualmente ha sido posible gracias a la beca contrato puente de la Universidad de Granada de la que es beneficiaria Ana Isabel Calero Castillo.

- Ha contado con el apoyo y amabilidad de los directores del Real Alcázar de Sevilla, así como con las facilidades aportadas por el Dr. Antonio Almagro Gorbea, de la Escuela de Estudios Árabes (CSIC) de Granada.
- Finalmente, damos las gracias a las doctoras Ana García Bueno y Olimpia López Cruz por la dirección del trabajo de campo, análisis de muestras y elaboración de probetas así como a las compañeras del grupo de investigación por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez Moreno, C. 2011. *El palacio de Pedro I en los Reales Alcázares de Sevilla. Estudio y análisis*. Tesis doctoral. Granada. Universidad de Granada.
- Calero-Castillo, A. I., García Bueno, A., López Cruz, O. & Medina Flórez, V. J. 2014. "Las yeserías del Real Alcázar de Sevilla. Estudio comparativo de la fachada de Pedro I y el Patio de las Doncellas. Materiales y cronología". En D. Juanes Barber & C. Roldán García, (Eds.), *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría* (pp. 386-388). Castellón: Subdirección de Conservación y Restauración e Investigación IVC+R de CulturArts.
- Collado-Montero, F., Hernández Pablos, A., Fernández Navarro, E., López Cruz, O. & Medina Flórez, V. J. 2011. "Exámenes material, colorimétrico y patológico de los zócalos alicatados del patio de las Doncellas. Palacio de Pedro I. Real Alcázar de Sevilla. Metodología y avance de resultados". En López Montes, Collado Montero, Medina Flórez, Espejo Arias, García Bueno (Eds.) *Actas del XVIII Congreso Internacional. Conservación y restauración de Bienes Culturales* (pp. 38-41). Granada. Universidad de Granada
- López Cruz, O., García Bueno, A. & Medina Flórez, V. J. 2011. "Evolución del color en el alero de la fachada del rey D. Pedro I, Real Alcázar de Sevilla. Aportaciones del estudio de materiales a la identificación de las intervenciones de restauración a lo largo de su historia". *Arqueología de la Arquitectura*, (8), 163-178.
- López Cruz, O., García Bueno, A., Medina Flórez, V.J., Sánchez Navas, A. & Vellilla, N. 2015. "Pictorial materials used in the polychrome decorations of the façade of the palace of king Pedro I (The Royal Alcazar of Seville, Spain)". *Materiales de construcción*, Abril-junio, 65(318).
- García Bueno, A. 2015. "El color en la decoración arquitectónica andalusí". *El legado de al Ándalus. Las antigüedades árabes en los dibujos de la academia* (pp. 81-91). Madrid. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Fundación Mapfre.
- Comision Internationale de l'Eclairage (CIE), *Colorimetry, Publication 15:2004*, (CIE: Vienna, 2004)
- International Organization for Standardization (ISO). *Colorimetry. Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space*. ISO 11664-4:2008 (CIE S 014-4/E: 2007)

ESTUDIO DE PÁTINAS PROCEDENTES DE HORNOS DE FUNDICIÓN EN LA REAL FÁBRICA DE ARTILLERÍA DE SEVILLA (S.XVII)

STUDY OF PATINAS FROM FOUNDRY OVENS IN THE ROYAL ARTILLERY FACTORY OF SEVILLE (XVII CENTURY)

V. Flores-Alés*

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

J. Alejandro

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

J.J. Martín del Río

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

F.J. Blasco-López

Dpto. Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla (España)

C. Núñez

Dédalo Bienes Culturales

RESUMEN

El objeto principal del presente trabajo es determinar la estructura de los estratos que componen el revestimiento del paramento de las zonas identificadas en la Fábrica de Artillería de Sevilla como "fundición vieja" y "fundición nueva" y realizar la caracterización química de los mismos con la finalidad concreta de identificar los posibles depósitos metálicos que pudieran haberse acumulado durante la actividad fabril de fundición llevada a cabo en el edificio desde finales del siglo XVI hasta el XX (Sobrino 2011). Hay que señalar que las posibles pátinas han sido sucesivamente ocultadas mediante el pintado de los paramentos, de ahí que la serie estratigráfica acumulada a lo largo del tiempo corresponda a una secuencia alterna (Barbero, 2013). Las muestras fueron evaluadas inicialmente mediante microscopía óptica para la determinación de los estratos existentes. Mediante microfluorescencia de rayos X y microscopía electrónica se identificaron las partículas que contenían metales y se determinó su composición química (Berthold, 2009). Este análisis confirmó la hipótesis de la presencia de elementos metálicos pesados, destacando especialmente la presencia de hierro, habiéndose detectado también en las distintas muestras en proporciones minoritarias, aunque relevantes (cobre, cinc y, en casos aislados, plomo y níquel). Todos ellos responden a su posible presencia en los materiales utilizados en la fundición.

Palabras Clave: patinas, fundición, metales pesados, Fábrica de Artillería de Sevilla

* vflores@us.es

ABSTRACT

The main objective of the present work is to determine the structure of the strata composing the coating of the walls in the areas identified in the Seville Artillery Factory as "old foundry" and "new foundry" and perform the chemical characterization of the same with the specific purpose of identifying the possible metallic deposits that could have accumulated during the factory foundry activity carried out in the building from the end of the 16th century until the XX (Sobrino 2011). It should be noted that the painting of the walls has successively hid the possible patinas; hence the stratigraphic series accumulated over time corresponds to an alternate sequence (Barbero, 2013). The samples were initially evaluated by optical microscopy to determine the existing strata. By means of X-ray microfluorescence and electron microscopy, the particles containing metals were identified and their chemical composition determined (Berthold, 2009). This analysis confirmed the hypothesis of the presence of heavy metal elements, especially the presence of iron, and also in the different samples, in minor proportions, although relevant (copper, zinc and, in isolated cases, lead and nickel). All of them respond to their possible presence in the materials used in the foundry.

Keywords: patinas, foundry, heavy metals, Royal Artillery Factory of Seville



Figura 1- Sección de la Real Fundición donde se reconoce el horno de reverbero alto, 1796. Archivo General de Simancas

INTRODUCCIÓN

A partir de la década 1990 la aplicación de la metodología de investigación arqueológica en las estructuras emergentes de los edificios históricos ha abierto nuevas vías de análisis, cuyos resultados están cuestionando en muchos casos las tradicionales interpretaciones que la historiografía tenía asumidas plenamente. A la luz de los nuevos datos surgidos, la construcción que ha servido de sede a la Real Fundición de Sevilla, posteriormente conocida como Fábrica de Artillería, podría constituirse como un ejemplo muy esclarecedor de este efecto. Los diferentes estudios y publicaciones que se han realizado sobre la Fábrica de Artillería ofrecen un panorama impreciso en cuanto al análisis constructivo del inmueble, que se ha entendido como un conglomerado de edificios producto de una sucesión de construcciones marcada por las necesidades productivas. A todo ello se suma la digitalización de la documentación histórica custodiada en diferentes fondos, cuyo procesamiento informático permite en la actualidad un acceso más ágil a una serie de fuentes de información, que con las herramientas tradicionales hubiera resultado casi imposible descubrir. Esta información no sólo aporta un conocimiento inédito, sino que posibilita la revisión de las fuentes

ya analizadas en las publicaciones anteriores y consecuentemente viabiliza la resolución de conclusiones nuevas o más profundas. Gracias a la disponibilidad en la red de una ingente documentación relacionada con la construcción de la Real Fundición de Sevilla, puede cuestionarse que de aquella primera fundición que la familia Morel estableciese en 1563 en el barrio de San Bernardo, queden hoy partes emergentes. Igual suerte debieron correr las fundiciones adquiridas por la Hacienda en 1634 para ser administradas en régimen de asientos hasta 1717 (Carrasco, 1887). Al carácter reformista de Felipe V se sumó el proteccionismo de Carlos III, quien impulsó la construcción de una fábrica de nueva planta a imitación de las grandes fundiciones reales francesas (Mora, 1994). Los primeros datos obtenidos permiten afirmar que el edificio, objeto actualmente de un amplio programa de rehabilitación promovido por el Ayuntamiento de Sevilla, fue concebido en un proyecto unitario que llegó a albergar tres hornos altos y cinco bajos para las fundiciones, las instalaciones necesarias para el afino de metales, con seis hornos de reverbero y dos copelas, almacenes para las materias primas, moldes y productos elaborados, al menos dos molinos, uno de ellos de sangre

con cuerdas para treinta caballos, las dependencias administrativas y diversos talleres complementarios, como los dedicados a barrenado, cincelado, ladrillo refractario y carpintería (De la Vega, 1992). Sin embargo, tradicionalmente en la historiografía local ha primado la idea de localizar en el actual inmueble la convivencia histórica de una "fundición vieja" y otra "fundición nueva", presuponiendo la pervivencia operativa de las primeras instalaciones de los siglos XVI y XVII (figura 1). Aunque es cierto que los datos conocidos admiten esta posibilidad, parece lógico plantear que, en esa persistencia funcional, la puesta en marcha de la "fundición nueva" supuso el cambio de uso de las anteriores, que se amortizarían con nuevos fines que a su vez requerían de adaptaciones arquitectónicas. Este contexto crítico y la perspectiva que ofrece la conservación de las pátinas con valor del edificio se constituyen como las principales motivaciones de este proyecto de análisis arqueométrico, pues, tratándose de una construcción eminentemente industrial (Rubio-Bellido, 2012), los depósitos asentados en los paramentos por su actividad a lo largo de los siglos son un documento de la historia del edificio. En definitiva, la superposición de pátinas ha dado lugar a la formación de diversas series de estratos que guardan la memoria de la actividad metalúrgica allí desarrollada. Se han tomado como referencia los estudios realizados del edificio con objeto de reconocer las zonas donde pudo concentrarse la actividad industrial más relevante, determinándose así las mencionadas zonas designadas como "fundición vieja" y "fundición nueva", entendiéndose que en los elementos superiores (bóvedas, cúpula,...) de estos dos puntos era donde debían estar los depósitos que pudieran aportar mayor información acerca de las pátinas y, a su vez, documentasen la actividad allí desarrollada. Existen además secciones detalladas que sitúan un horno de reverbero bajo la cúpula principal de la "fundición nueva".



Figura 2- Imagen en la que se observa la secuencia estratigráfica de capas de humo y capas pictóricas

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es determinar la estructura de los estratos que componen el revestimiento del paramento de las zonas identificadas como "fundición vieja" y "fundición nueva" y realizar la caracterización química de los mismos, con la finalidad concreta de identificar los posibles depósitos metálicos que pudieran haberse acumulado durante la actividad fabril de fundición llevada a cabo en el edificio. Hay que señalar que las posibles pátinas han sido sucesivamente ocultadas mediante el pintado de los paramentos, de ahí que la serie estratigráfica sea una secuencia (figura 2).

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Las muestras estudiadas están constituidas por secciones de las capas pictóricas y enlucidos de cal de los muros de las zonas que, conforme al conocimiento historiográfico, permiten localizar la ubicación original de los hornos. La toma de muestras en la zona designada como "fundición nueva" se realizó en la cúpula, en la zona de salida de humos de la primera fundición (figura 3). Se tomaron por parte del restaurador responsable cinco muestras de la "fundición nueva" y una de la "fundición vieja" con el fin de, una vez evaluadas las mismas mediante inspección con microscopio



Figura 3- Proceso de toma de muestra



Figuras 4. Extracción de muestra mediante corte y levantamiento del revestimiento completo.



Figuras 5- En las imágenes se puede observar la fragilidad de los estratos y la desagregación de los mismos.

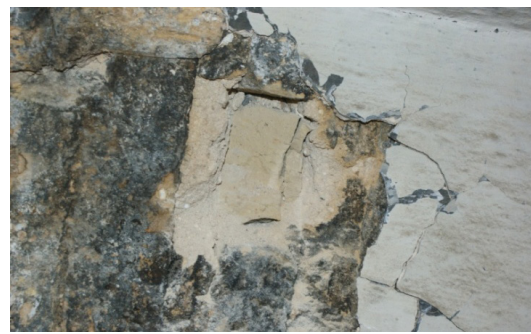


Figura 6- "Fundición Vieja", en la que sólo se detectó un estrato negro.

óptico, determinar las más relevantes para su caracterización posterior.

El proceso de extracción de las muestras se llevó a cabo con la intención específica de obtener la serie completa tratando de que no se produjese la desagregación del revestimiento (figura 4), algo que no resultó sencillo debido a la separación de unas capas con otras por la aparente fragilidad de las capas de pintura (figura 5). Como dato interesante con respecto a la inspección durante el muestreo, se pudo observar que en algunas zonas los primeros depósitos negros aparecen directamente sobre el enlucido, sin mediar una primera capa de pintura, lo que permite suponer que la actividad se inició en el mismo momento en que el edificio estuvo disponible, sin esperar siquiera al revestimiento de muros mediante encalado. En la zona reconocida como

"fundición vieja" sólo se identificó una película ennegrecida, por lo que se tomó una única muestra (figura 6).

Las muestras fueron estudiadas inicialmente mediante microscopía óptica, se prepararon para obtener una sección de la serie estratigráfica, embutiéndose en resina de metacrilato, posteriormente se cortaron con disco de diamante y finalmente se pulieron con disco rotatorio refrigerado con agua para su observación (Jiménez-Roca, 2005). Se ha realizado el estudio óptico de capas con un microscopio stereozoom marca LEICA modelo S8 APO, con cámara de captura LEICA DC300 y software IM50 (Image Manager) v.1.20. De esta forma se observa la estructura de las posibles capas que cubren los paramentos, así como los espesores de las mismas (Blasco, 2015). Con el fin de comprobar la existencia de elementos metálicos en los estratos

procedentes de los humos, se procedió al análisis con equipo de microfluorescencia de Rayos X marca EDAX (modelo Eagle III), el cual consta de una cámara (Low Mag 10X (color) and High Mag CCD 100X (color), 2X digital zoom) con la que se enfoca la superficie de la muestra, y sobre esta superficie se analizan los elementos presentes cualitativa y cuantitativamente. Finalmente, se refrendaron los resultados obtenidos por microfluorescencia de rayos X mediante el análisis por microscopía electrónica SEM-EDS en microscopio Phillips XL-30, previo metalizado de la muestras con sputtering con oro.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estudio estratigráfico por microscopía óptica

El análisis visual de las muestras permite establecer una descripción inicial y constatar la secuencia aparente de capas de pintura y depósitos de humo. Igualmente en algunas muestras se percibe claramente la fragilidad y fractura de las capas, del mismo modo se puede comprobar cómo las capas producidas por el humo no presentan buena cohesión; ello da como resultado la desagregación de las mismas y su difusión en la capa subsiguiente de pintura debido, probablemente, al arrastre de las partículas de humo producido durante el pintado. La muestra tomada en la zona identificada como "fundición nueva" CV1 presenta una única capa de color negro de pequeño espesor, depositada directamente sobre la capa de enlucido que conformaba el revestimiento original, sin que la estratigrafía muestre una capa previa de pintura (Tabla 1).

Tabla 1. Número de capas en cada secuencia estratigráfica y espesores total

Muestra	Número de capas	Espesor total (µm)
C1V	1	< 10
C2	6 a 7	1130
C3	6	2530
C4	3-4	800-1060
C5	3-4	1550
C6	1	< 10

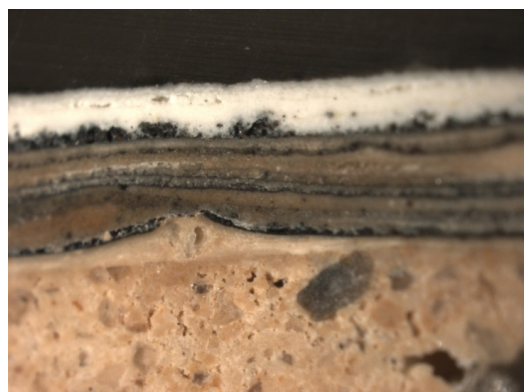


Figura 7- Secuencia de estratos de la muestra C4 (x40), en la que se observa la irregularidad de las capas.

Las muestras tomadas en la zona identificada como "fundición nueva" presentan secuencias estratigráficas sensiblemente distintas. La muestra C5 presenta hasta cuatro capas negras alternadas con las correspondientes capas de pintura. Las capas de humo no presentan todas en el mismo estado de agregación, aunque con carácter general se aprecia una deficiente cohesión, estando en algunos casos claramente difusa por arrastre en la capa de pintura superior. La muestra C3 presenta una estructura similar, con la diferencia de que uno de los estratos de pintura parece haberse aplicado en dos manos; en esta muestra la difusión de las partículas de humos no es tan evidente como en C5. La muestra C2 presenta una apariencia similar, aunque la pequeña sección de los estratos dificulta su definición, no pudiéndose estimar la naturaleza de cada uno de ellos. La muestra C4 es completamente distinta, detectándose únicamente dos capas negras con la correspondiente de pintura, resultando las capas de humos muy irregulares (figura 7).

Como dato común, se ha observado que las primeras capas de humo están depositadas directamente sobre el revestimiento, sin que aparentemente este se pintara antes de iniciarse la actividad industrial. Con carácter

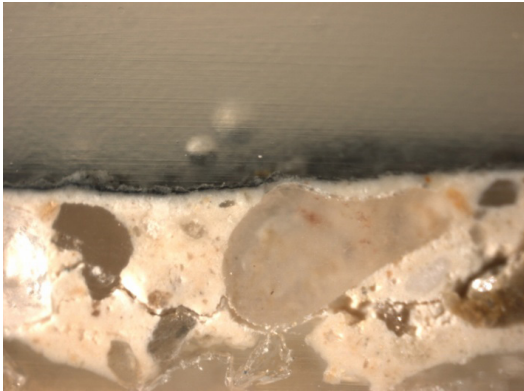


Figura 8- Imagen del estrato de la "fundición vieja" (x40), en la que se observa una única capa sobre el revestimiento y una textura y granulometría de este completamente distinta a las observadas en las muestras de la "fundición nueva" (Fig. 7)

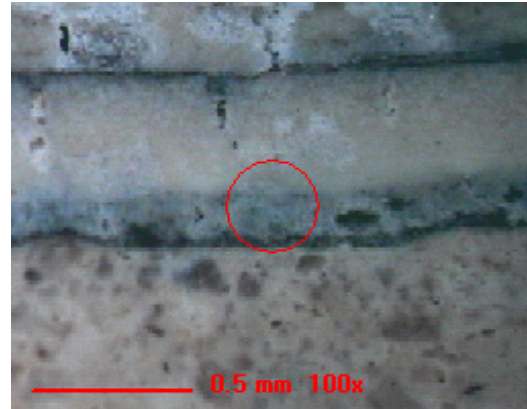


Figura 9 / Tabla 2- Imagen de micro-FRX en la que se observa señalada con un círculo rojo la zona objeto de análisis y resultados del análisis químico obtenido.

general se observa que la última capa es común para todas las muestras de la fundición nueva, con textura asociable, a falta de caracterización química, de ser una película de pintura con base de resina polimérica.

En otro orden, se debe destacar las diferencias significativas que presentan los morteros de revestimiento de las muestras de la "fundición nueva" con relación a las muestra de la "fundición vieja" (figura 8), observándose tipologías de áridos, color, aspecto y textura del aglomerante completamente distintos a los que se observan en la Figura 7 (Miriello 2011).

Micro-fluorescencia de rayos X

El análisis químico por micro-FRX confirmó la hipótesis de la presencia de elementos metálicos pesados en todas las muestras analizadas procedentes de la "fundición nueva" así como en los diferentes estratos de cada muestra, como se puede comprobar las (Figura 9 y Tabla 2).

Oxide	Wt%	At%
Al ₂ O ₃	00.71	00.42
SiO ₂	01.87	01.87
SO ₃	17.84	13.38
K ₂ O	01.34	00.85
CaO	77.85	83.31
Fe ₂ O ₃	00.30	00.11
CuO	00.04	00.03
ZnO	00.04	00.03

El análisis por FRX de las muestras de la fundición nueva presenta como datos más relevantes los siguientes:

- En todas las muestras aparecen como componentes mayoritarios silicio y calcio presentes en los morteros que revestían originalmente los paramentos y cuya detección era perfectamente previsible, procedentes de los áridos de cuarzo y silicatos y de la cal carbonatada.
- La presencia de óxido de azufre SO₃ es muy variable en función de la muestra analizada, ello puede tener varias explicaciones.

a) Las muestras de mortero pueden tener fracciones de yeso y puesto que la sección del haz del analizador abarca parte los estratos de enlucido, puede detectar dichas fracciones en el análisis (Malta 2007).

b) El carbón empleado como combustible muy posiblemente puede haber contenido fracciones de azufre, lo que ha dado lugar a un proceso de sulfatación de la calcita de los enlucidos.

- Entre los elementos metálicos destaca especialmente la presencia de hierro. La presencia de este metal puede asociarse tanto al arrastre de partículas con los vapores, como la incorporación de óxidos de hierro (goethita de color ocre/amarillento o hematitas de color almagra) a la cal de los enlucidos, puesto que como se puede ver en las imágenes tomadas con lupa óptica los mismos no son blancos, si no que presentan tonos amarillentos.
- Los elementos metálicos pesados detectados en las distintas muestras en proporciones minoritarias, aunque relevantes son aluminio, cobre, zinc y, en casos aislados, plomo y níquel. Todos ellos responden a su posible presencia en los materiales utilizados en la fundición. A pesar de la no detección de estaño, metal propio de la fundición de bronce; sin embargo, su presencia sí se ha detectado en los análisis por microscopía SEM.

El análisis de las muestras de la "fundición vieja" presenta como datos más relevantes los siguientes:

- Los resultados son sensiblemente distintos a los obtenidos para las muestras de la fundición nueva, detectándose mayoritariamente silicio y calcio del mortero, sulfatos en valores mucho más bajos que en las otras muestra, y porcentajes despreciables de los elementos metálicos, de lo que puede deducirse que, independientemente de las

suposiciones basadas en las fuentes de la historiografía local, en esta zona no estuvieron ubicados los hornos y, por lo tanto, en ella no ha habido actividad industrial de fundición; tratándose mayormente de una capa oscurecida producto de la suciedad acumulada.

Microscopía electrónica de barrido SEM-EDS

La captación de imágenes por el modo de Electron Back-Scattering (BSE) ha permitido identificar claramente las partículas metálicas pesadas, por ser significativamente blancas, frente al fondo de la capa que aparece con colores oscuros o grises, lo que señala que está compuesta mayoritariamente por elementos químicos ligeros (silicio, oxígeno, carbono, calcio, azufre, aluminio y magnesio). Estas aparecen de manera dispersa y no concentrada en los estratos, por lo que quedarían confirmados los resultados de micro FRX: los estratos de depósitos de humos están compuestos por una matriz de carbón inquemado (hollín), en la que quedan dispersas las partículas de los metales pesados. La observación pormenorizada de las muestras ha permitido determinar los tamaños de partículas de origen metálico, estando las mismas en un rango entre 12µm y 50µm, sin diferencias perceptibles en función de la muestra. Los elementos metálicos pesados detectados en dichas partículas han sido principalmente el estaño y el cobre en proporciones por encima del 10%. Estos dos metales son los constituyentes principales de la aleación del bronce, y se podría explicar su presencia entre las capas de cal por el arrastre de los vapores y humos de una fracción de los materiales utilizados en la fundición. Una vez estudiada la composición química de las partículas de naturaleza metálica, se estima que el estaño posiblemente se encuentre en forma de óxido procedente de los vapores de la fundición, y con relación a la presencia de cobre, es posible que su origen más probable proceda de vapores de cloruro de cobre formado en posibles

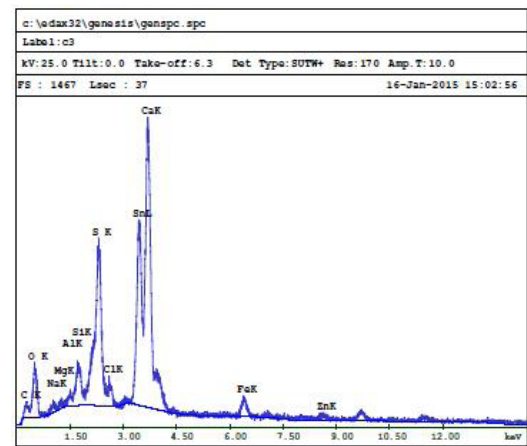
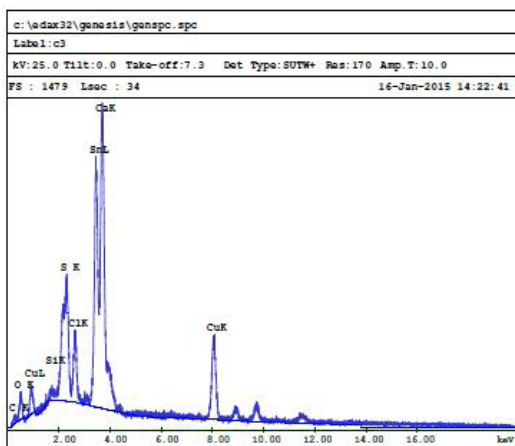
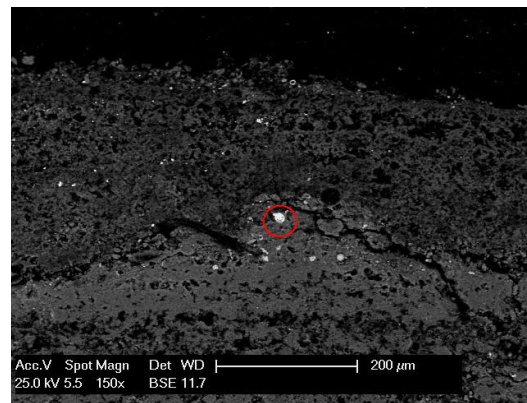
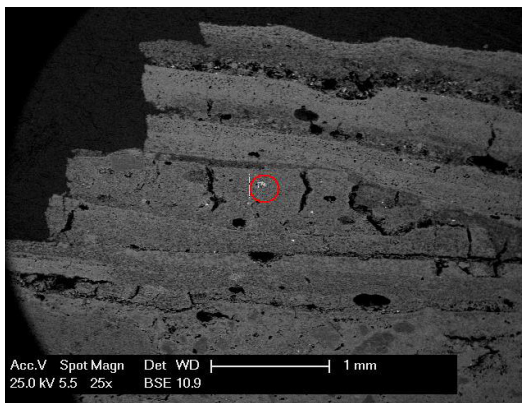


Figura 10- Imágenes de microscopía electrónica BSE de las muestras C3 y C4, en las que se señalan las partículas de metales pesados analizadas y los espectros obtenidos.

procesos de afino con sales de cloro durante la incorporación del cobre a la aleación definitiva (Mora 1994). Se puede observar en los espectros EDS de la Figura 10 que estaño y oxígeno aparecen conjuntamente en uno de ellos y cobre y cloro en el otro. En las muestra de la “fundición vieja”, por el contrario, no se observan estas partículas, ni en el corte estratigráfico ni en su superficie plana, siendo la composición mayoritaria silicio y calcio procedentes del mortero de revestimiento. Las imágenes que se muestran en la Figura 10 muestran de manera detallada las partículas y los espectros de su composición química fundamental.

CONCLUSIONES

A partir de lo indicado en la discusión de resultados de las muestras los datos más relevantes son los siguientes:

- Los análisis confirman la actividad de fundición desarrollada, así como la composición cualitativa de las aleaciones empleadas en los procesos tecnológicos de la fundición del bronce.
- No se observan diferencias sensibles entre los estratos de humos, lo que permite suponer escasos cambios en las materias primas mayoritarias empleadas en los procesos de fabricación y en la composición de

- los materiales de los productos finales.
- Los resultados obtenidos en las muestras de la "fundición vieja" confirman la suposición de que, en contra de las tesis mantenidas en las fuentes tradicionales, en dicha zona del recinto de la fábrica no se ubicaron los hornos en ningún momento, ni hubo actividad de fundición.
 - La realización de este trabajo tiene como finalidad aportar información para la toma de decisiones y redacción del proyecto de restauración y rehabilitación de la Real Fábrica de Artillería acometido por el Ayuntamiento de Sevilla, de modo que se puedan preservar los revestimientos que, en el conjunto de la recuperación del edificio, mantengan el recuerdo de la actividad industrial allí desarrollada.

BIBLIOGRAFIA

- Barbero-Barrera M.M. Maldonado-Ramos L. Van Balen K, García-Santos A. & Neila-González F.J. 2013. «Lime render layers: An overview of their properties». *J Cult Heritage*, 15 (3): 326-30.
- Berthold C. Bjeoumikhov A. & Brügemann L. 2009. «Fast XRD Microdiffraction with focusing X-Ray Microlenses». *Part Syst Charact*, 26: 107-11.
- Blasco-López F.J. Alejandro F.J. & Flores-Alés V. 2015. «Methodology for characterising microlayers in historical plasterwork». *Const and Build Mat*, 93: 463-470.
- Bol. Oficial del Estado 30 de noviembre de 2001. Carrasco y Saiz A. 1887. *Apuntes para la historia de la fundición de artillería de bronce en España*. Imp. del Cuerpo de Artillería. Madrid.
- De la Vega Viguera E. 1992. *Sevilla y la Real Fundición de cañones*. Guadalquivir ed. Sevilla.
- Jiménez-Roca E. Ruiz-Conde A. & Sánchez-Soto P.J. 2005. "Preparación de secciones estratigráficas: aspectos prácticos del análisis de estratos en obras del Patrimonio Cultural (pigmentos y soportes)". *Bol Soc Esp Ceram Vid*, 44 (6): 382-6
- Malta da Silveira P. Veiga M.R. & Brito J. 2007. «Gypsum coatings in ancient buildings». *Construct Build Mater*, 21 (1): 126-31.
- Miriello D. Bloise A. Crisci G.M. Apollaro C. & La Marca A. 2011. «Characterisation of archaeological mortars and plasters from kyme (Turkey)». *Jour Archaeological Sc*, 38 (4): 794-804.
- Mora Piris P. 1994. «La Real Fundición de bronce de Sevilla: siglos XVI al XVIII». *Esc. Sup Ingenieros*. Sevilla.
- Rubio-Bellido C. Gallego P. & Llacer R. 2012. *The future of fortifications in the city of Cadiz: opportunities and strategies for an urban regeneration*. Defence sites: heritage and future, 123.
- Sobrinho J. 2011. «La Real Fábrica de Artillería de Sevilla: Hacia un espacio patrimonialmente activo y de Producción Creativa». *Abaco: Rev Cult CC. SS.*, 70: 89-94.

LA ARQUEOMETRÍA EN LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE OBJETOS METÁLICOS DEL MUSEO NAVAL DE MADRID

ARCHEOMETRY IN PREVENTIVE CONSERVATION OF METAL OBJECTS FROM THE NAVAL MUSEUM OF MADRID

F. Agua

Instituto de Historia, CCHS-CSIC. Calle Albasanz, 26-28.
28037 Madrid, España

J.M. Gálvez Farfán

Museo Naval, Ministerio de Defensa. Paseo del Prado, 5.
28014 Madrid, España

J. Peña

Instituto de Historia, CCHS-CSIC. Calle Albasanz, 26-28.
28037 Madrid, España

J.F. Conde

Instituto de Historia, CCHS-CSIC. Calle Albasanz, 26-28.
28037 Madrid, España

M. González Rodrigo

Museo Naval, Ministerio de Defensa. Paseo del Prado, 5.
28014 Madrid, España

S. García Ramírez

Museo Naval, Ministerio de Defensa. Paseo del Prado, 5.
28014 Madrid, España

M. García Heras

Instituto de Historia, CCHS-CSIC. Calle Albasanz, 26-28.
28037 Madrid, España

M.A. Villegas*

Instituto de Historia, CCHS-CSIC. Calle Albasanz, 26-28.
28037 Madrid, España

RESUMEN

La evaluación de las condiciones ambientales, tanto en sala como en vitrinas, realizada en el Museo Naval de Madrid a partir de un protocolo de seguimiento de la acidez ambiental que utiliza sensores ópticos basados en la tecnología sol-gel, sirvió para constatar que las condiciones de conservación eran adecuadas en la mayoría de los espacios expositivos. Sin embargo, en algunas vitrinas en las que se habían observado problemas de conservación de objetos metálicos procedentes de pecios, los valores de pH ambiental detectados fueron ácidos (valores promedio inferiores a pH = 6,5). Esta contribución presenta los resultados de la investigación llevada a cabo para determinar las causas de los problemas de conservación observados en una vitrina que expone balas de plomo, con el propósito de establecer pautas de conservación preventiva. Las balas de plomo desarrollaban una capa blanquecina poco consistente tras su limpieza y posterior protección contra la corrosión con una resina acrílica comercial. Se realizaron diferentes ensayos en el laboratorio con los objetos tratados y sin tratar dentro de recipientes cerrados, y con los soportes y contenedores de polimetilmetacrilato del interior de las vitrinas, utilizando en ambos casos los

ABSTRACT

The evaluation of the environmental conditions, both in the room and in the showcases, carried out in the Naval Museum of Madrid from a protocol of monitoring the environmental acidity using optical sensors based on the sol-gel technology, served to confirm that the conditions were adequate in most exhibition spaces. However, in some showcases where conservation problems of metallic objects from wrecks had been observed, the environmental pH values detected were acid (mean values lower than pH = 6.5). This contribution presents the results of the investigation carried out to determine the causes of the conservation problems observed in a showcase that exposes lead bullets, in order to establish preventive conservation guidelines. The lead bullets develop a poorly consistent whitish coating after their cleaning and subsequent corrosion protection with a commercial acrylic resin. Different tests were carried out in the laboratory with the treated and untreated objects inside closed containers, and with the polymethylmethacrylate supports and containers from inside the showcases, using in both cases the mentioned optical sensors. The results indicated that a layer of lead formate was formed in the lead objects produced by

* mariangeles.villegas@cchs.csic.es

sensores ópticos mencionados. Los resultados indicaron que en los objetos de plomo se formaba una capa de formiato de plomo producida por la presencia de especies ácidas cuyo origen se debe, muy probablemente, al efecto combinado del empleo de la resina acrílica y la presencia de materiales de polimetilmetacrilato en un ambiente cerrado. La determinación del pH en el ambiente de dicha vitrina y su seguimiento en los ensayos de laboratorio ha permitido alertar sobre el medio ácido generado, lo cual ha servido para establecer acciones correctoras de conservación preventiva en el museo.

Palabras Clave: conservación, plomo, acidez ambiental, sensor, protección.

the presence of acidic species, the origin of which is most probably due to the combined effect of the use of the acrylic resin and the presence of polymethylmethacrylate materials in a closed environment. The determination of the pH in the environment of the showcase and its follow-up in the laboratory tests allowed to alert to the acid medium generated, which has served to establish corrective actions of preventive conservation in the museum.

Keywords: Conservation, lead, environmental acidity, sensor, protection

1. INTRODUCCIÓN

Los objetos metálicos depositados y/o expuestos en los museos pertenecen al grupo de materiales con mayor tendencia a la degradación y corrosión, especialmente si proceden de entornos o ambientes de alto riesgo con elevados porcentajes de humedad relativa. La conservación de bienes culturales metálicos rescatados del fondo marino es uno de los retos más complicados, ya que el contacto prolongado con el agua marina y sus sales deteriora profundamente los metales y aleaciones hasta el extremo de que puede hacer desaparecer el cuerpo metálico completamente. En el Museo Naval de Madrid se exponen muy diversos bienes culturales procedentes de pecios entre los que es frecuente encontrar objetos o piezas de objetos realizados con metales y aleaciones de distinta y variada naturaleza. Dichos bienes culturales, debido a su precario estado de conservación, se someten a procesos de desincrustación y limpieza, así como a tratamientos de preservación y protección, sobre todo si han de ser expuestos en las vitrinas y salas del museo. Muy frecuentemente en un mismo espacio expositivo o vitrina coexisten bienes culturales de distintos materiales, no siempre absolutamente compatibles

desde el punto de vista fisicoquímico en cuanto a interacciones, reactividad o sinergias que afectan su grado de deterioro y su estado de conservación. Por otro lado, en la mayoría de las ocasiones no es posible evitar dicha coexistencia de materiales, ya que el propio discurso del museo lo requiere. El origen del presente estudio fue un problema de conservación de las balas de plomo procedentes de la Nao San Diego, expuestas en una vitrina de la sala dedicada a dicho galeón en el Museo Naval de Madrid. El galeón español San Diego (1585) realizaba la ruta comercial entre Filipinas y Nueva España (México) para el intercambio de mercancías propias de ambas colonias. En 1600, ante el ataque alentado por la Armada Británica de tres navíos piratas holandeses (Mauritius, Eendracht y Hope) para conquistar Manila, el galeón San Diego fue armado urgentemente con 14 cañones y, junto con otros tres navíos españoles, defendió con éxito la bahía de Manila. La Nao San Diego se hundió durante el combate y su pecio fue descubierto en 1991 a 52 m de profundidad a unos 1200 km de Manila. La excavación fue realizada por el arqueólogo submarino francés Frank Goddio. El pecio contenía monedas, armas, cañones, municiones, joyas de oro, porcelanas de la dinastía

Ming, vasijas de cerámica, etc. El 70 % de los objetos rescatados se conservan en el Museo Naval de Madrid y el resto en el Museo Nacional de Filipinas. Puesto que las balas de plomo expuestas en el Museo Naval presentaban recurrentemente, después de intervenciones periódicas de limpieza y tratamientos de protección, una capa blanquecina de escasa adherencia, los objetivos del estudio se centraron en llevar a cabo una caracterización arqueométrica de los materiales (plomo y diversos materiales auxiliares presentes en la vitrina), así como una evaluación ambiental dentro de la vitrina. Para ello los objetivos concretos se desglosan en los siguientes puntos: determinar la composición química de las balas de plomo; caracterizar la estructura metálica de la aleación de plomo; determinar la composición química de la capa de corrosión; evaluar el ambiente en el interior de la vitrina; revisar el procedimiento de intervención curativa de las balas; reproducir en el laboratorio las condiciones de corrosión de las balas; establecer recomendaciones de intervención y conservación preventiva.

2. EQUIPOS EXPERIMENTALES

La evaluación ambiental previa llevada a cabo tanto en el exterior del Museo Naval como en el interior (espacios expositivos en las salas visitables y vitrinas) se realizó con sensores químicos de respuesta óptica desarrollados por el equipo de investigación del Instituto de Historia (Villegas Broncano *et al.*, 2010). Los detalles experimentales sobre la preparación, calibración, validación y uso de los sensores en operaciones de evaluación ambiental se recogen en trabajos anteriores (Peña-Poza *et al.*, 2011, 2013; Llorente-Alonso *et al.*, 2013; García-Heras *et al.*, 2005). El análisis químico cuantitativo de las balas se realizó de acuerdo con la norma UNE 37201-89 (Plomo. Designación y composición, 7 febrero 1989) y consistió en las siguientes etapas: extracción de viruta de una bala, puesta en disolución ácida de la viruta de la muestra y determinación

analítica mediante espectrometría de absorción atómica de llama. Se utilizó un equipo Varian modelo Spectr AA-220 Fs. Para el análisis morfológico se usó un microscopio óptico digital Olympus modelo GX51 y para el análisis metalográfico un microscopio Olympus modelo PME3. El polvo blanquecino procedente de la superficie deteriorada de las balas se caracterizó mediante difracción de rayos X (DRX) con un equipo PANalytical X'Pert MPD (radiación $K\alpha$ del cobre, 45 kV, 40 mA, $2\theta=5-60^\circ$). La microestructura de la capa de alteración en la superficie exterior de las balas se observó con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (MEBEC) Hitachi S-4800 de cátodo frío con tensión de aceleración de 15 kV, acoplado a un sistema analizador de dispersión de energía de rayos X (EDS) Oxford Inca. Para la observación de MEBEC se cortó transversalmente un fragmento de la muestra, no siendo necesaria la metalización de la superficie. Los ensayos de meteorización inducida en el laboratorio se realizaron con reactivos de grado para análisis. Asimismo, se utilizaron fragmentos de polimetilmetacrilato (PMMA) comercial, serrín de aglomerado común y la resina comercial Inrcal44® (Ficha técnica de Inrcal 44®. Material safety data sheet NPCA 1-84. For coatings, resins and related materials, 21 marzo 2001).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación ambiental con sensores de acidez.

La evaluación ambiental con sensores de acidez, que se llevó a cabo en el exterior e interior (salas expositivas y vitrinas) del Museo Naval durante 7 días consecutivos, demostró que el pH del aire depende de la localización y zonas evaluadas. La tabla 1 resume los resultados promedio registrados en el interior de la vitrina que contiene las balas procedentes del pecio del galeón San Diego, así como los datos promedio registrados en el ambiente de diversas salas expositivas de la exposición permanente y en el exterior del museo (Peña-Poza *et al.*, 2014).

Tabla 1- Datos promedio de acidez ambiental registrados en diversas zonas interiores y en el exterior del Museo Naval.

Ubicación	pH promedio	Desviación típica (\pm)
Interior vitrina	6,33	0,10
Salas	6,97	0,12
Exterior	5,68	1,22

La notable acidez (pH=5,68) que se detecta en el exterior se explica fácilmente por las características del intenso tráfico rodado y contaminación del Paseo del Prado de Madrid donde se ubica el Museo Naval. La acidez registrada en el ambiente de las salas expositivas es, sin embargo, muy próxima a la neutralidad (pH=6,97), mientras que en la vitrina donde se conservan y exponen las balas del galeón San Diego el pH es apreciablemente ácido (pH=6,33). Por lo tanto, a la vista de estos resultados se puede deducir, por un lado, que la contaminación urbana exterior no penetra indiscriminadamente en las salas expositivas del museo donde la ventilación controlada preserva un pH muy próximo a la neutralidad; y, por otro lado, que en el interior de la vitrina que contiene las balas existe un microambiente lo suficientemente ácido para haber favorecido la corrosión que se observa recurrentemente en la superficie de las balas. Si bien los sensores de acidez informan de la presencia de especies ácidas/básicas que modifican el pH inicialmente neutro del aire de las salas expositivas y vitrinas, sin embargo no ofrecen información sobre el origen de dichas especies. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio arqueométrico más profundo para esclarecer los

procesos de degradación que tienen lugar en la superficie de las balas.

3.2. Composición química y estructura cristalina de las balas.

La tabla 2 muestra los resultados del análisis químico de un fragmento del cuerpo interno de una bala exento de corrosión. Teniendo en cuenta el contenido total de impurezas (de 0,026 a 0,031 % en peso), el porcentaje mínimo de plomo en la muestra es de 99,97 %, lo que correspondería a la designación numérica de calidad Pb-3. En cuanto a los contenidos máximos de impurezas de arsénico y estaño, el porcentaje mínimo de plomo en la muestra es de 99,95 %, que corresponde a la designación numérica de calidad Pb-4. Respecto a los contenidos máximos de impurezas de plata, el porcentaje mínimo de plomo en la muestra es de 99,91 %. En general la designación numérica de una determinada calidad de plomo atendiendo a la norma UNE 37201-89 se realiza según lo que determina la impureza que aparece en mayor proporción. En este caso son las impurezas de plata y, por lo tanto, el plomo del cuerpo de la bala es de calidad Pb-5. El análisis morfológico de una bala que presentaba una oquedad interna (fig. 1) puso de manifiesto que la superficie de la misma se halla totalmente cubierta de una capa de corrosión que también aparece en la superficie de la oquedad. Las imágenes de la fig. 1 indican que la formación de la capa de corrosión probablemente se debe a un proceso de degradación originado por contaminantes gaseosos, ya que toda la superficie de la bala incluida la zona de la oquedad aparecen deterioradas por igual. Asimismo, en la fig. 1c se pueden distinguir dos tipos de capa de corrosión: una debida al deterioro del cuerpo del plomo (capa amarillenta), y otra debida a los depósitos superficiales (capa blanquecina).

Tabla 2- Resultados del análisis químico del cuerpo inalterado de una bala.

Elemento	Bi	Ag	Cu	As	Sb	Sn	Fe	Zn
% peso \pm DT (n=3)	<0,002	0,0102 \pm 0,0001	0,0059 \pm 0,0002	0,0036 \pm 0,0003	<0,002	0,005 \pm 0,001	0,0015 \pm 0,0002	<0,0005

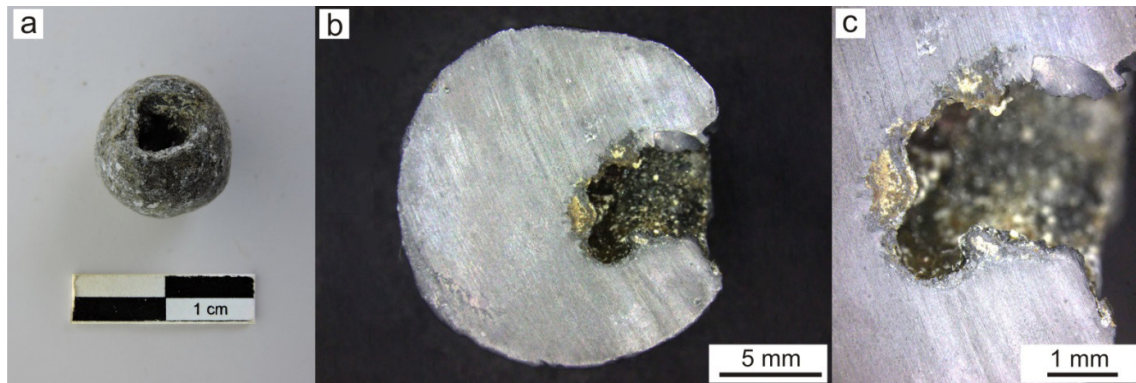


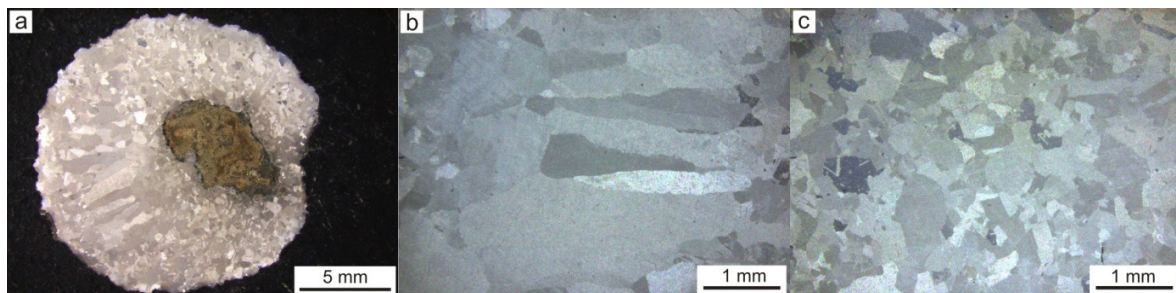
Figura 1- Fotografía e imágenes de microscopía óptica de la bala de la que se extrajeron fragmentos para diferentes análisis: a) bala antes del corte, b) sección de la bala después del corte, c) detalle de las capas de corrosión de la superficie externa de la bala y de la superficie de la oquedad.

Hay que precisar que la presencia de defectos macroscópicos de tamaño considerable, como la oquedad que presenta la bala analizada, es bastante frecuente en balas producidas por colado de la aleación de plomo en un molde, como consecuencia de defectos del molde, impurezas de la propia aleación, inclusiones de gases o de óxidos, etc. Para el estudio metalográfico la superficie de la sección de corte de la bala se atacó con una disolución de una parte de H₂O₂ y cinco partes de ácido acético glacial. La fig. 2 muestra la estructura cristalina monofásica del plomo que consiste en granos de crecimiento columnar de gran tamaño, junto con otros de desarrollo equiáxico. También puede observarse que en la zona de falta de material (oquedad de la bala), los granos equiáxicos se

concentran próximos a esa superficie y que los granos columnares solo han crecido incipientemente en dicha zona.

Los resultados metalográficos indican que, durante la solidificación, el material en contacto con las paredes del molde es el primero en enfriarse y se desarrolla una capa sólida de superficie aproximadamente uniforme constituida por granos equiáxicos de igual dimensión. La bajada de temperatura del metal restante en estado líquido es más lenta que en la superficie, y esto provoca que la solidificación progrese por crecimiento de granos alargados perpendiculares a la superficie exterior con estructura columnar. La presencia de granos de crecimiento equiáxico en las zonas próximas a la oquedad permite

Figura 2- Imágenes metalográficas del plomo de una bala: a) campo general, b) detalle de los granos columnares, c) detalle de los granos equiáxicos.



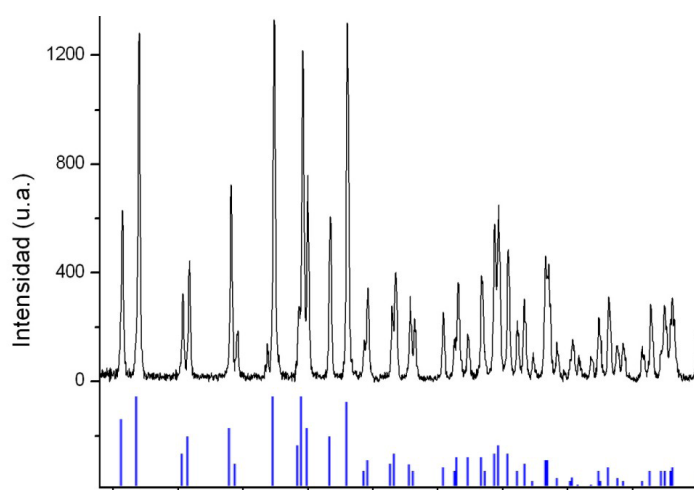


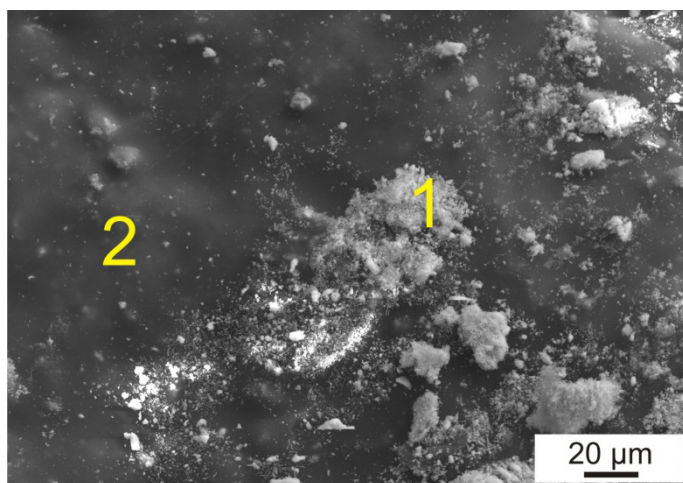
Figura 3- Difractograma de rayos X de la capa de corrosión blanquecina. Las líneas azules representan el patrón de formiato de plomo según la ficha ICDD 00-014-0825.

deducir que el plomo se enfrió más rápidamente en esas zonas durante la solidificación. Por lo tanto, la estructura cristalina metálica que se ha identificado es coherente con la de un proceso de colado correcto de aleación de plomo en un molde, posiblemente de arena.

3.3. Caracterización de la capa de corrosión de las balas.

El polvo blanquecino de la superficie de las balas se analizó por DRX. En el difractograma correspondiente (fig. 3) se detectó formiato de plomo como fase cristalina mayoritaria y carbonato de plomo como secundaria.

La microestructura de la superficie de la capa de corrosión en la superficie exterior de la bala se puede observar en las imágenes de MEBC de la fig. 4. Se aprecia una microestructura heterogénea con depósitos superpuestos, cuyo microanálisis EDS (zona 1) indica porcentajes elevados de carbono y oxígeno que pueden asimilarse a la presencia de sustancias orgánicas (por ejemplo, formiato de plomo), y/o carbonato de plomo. También se detectan pequeños contenidos de cloruros, probablemente residuales del entorno marino, y arsénico procedente de la aleación de plomo. En las zonas menos heterogéneas (zona 2) el contenido de plomo es más elevado, lo que sería



(% peso atómico)	C	O	Cl	As	Pb
Zona 1	25,0	67,2	0,2	0,1	7,4
Zona 2	16,1	45,7	n.d	n.d	38,2

Figura 4- Imágenes de MEBC de la capa de corrosión de la superficie de la bala y resultados de microanálisis EDS de algunas zonas (n.d. no detectado).

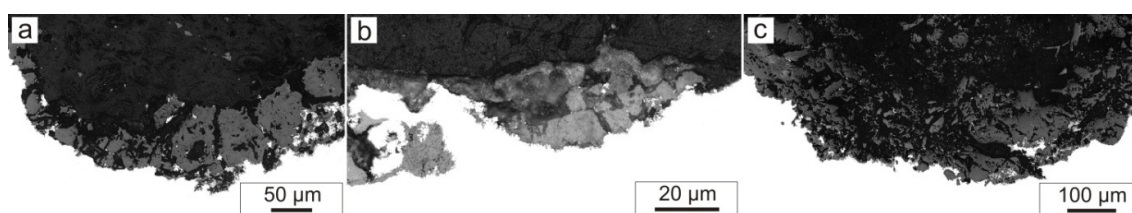


Figura 5- Imágenes de MEBEC de la capa de corrosión en sección: a y b) superficie exterior de la bala, c) superficie de la zona de falta de material de la bala.

coherente con la formación de una capa de corrosión más incipiente. El aspecto en sección de la capa de corrosión más externa en la superficie exterior de la bala y en la superficie de la falta de material (oquedad de la bala) se muestra en las imágenes de la fig. 5. En la superficie exterior de la bala se detectan plomo y oxígeno como elementos mayoritarios (fig. 5a) y, en algunas zonas, además se detecta cloro y arsénico (fig. 5b). En todas las observaciones de las distintas zonas de la bala se apreció una microestructura semejante de la capa de corrosión, tanto en la superficie más externa como en la superficie de la oquedad.

3.4. Revisión del procedimiento de intervención curativa y ensayos de meteorización inducida.

El procedimiento de intervención curativa de las balas llevado a cabo en el Museo Naval consistió en las siguientes operaciones:

- cepillado en seco con una brocha de pelo suave hasta eliminar el material no adherido (limpieza física)
- inmersión en HCl hasta cese de burbujeo (limpieza química, por decapado)
- lavados sucesivos por inmersión en abundante agua corriente
- inmersión en acetona, extracción,

- secado al aire y secado con chorro de aire caliente
- tras 24 h de secado al aire, aplicación de un recubrimiento protector de Incral 44®.

Puesto que se observó que la aparición sucesiva de la capa blanquecina en la superficie de las balas se producía al cabo de unos pocos meses tras la intervención curativa, se planteó una posible relación entre el recubrimiento protector y el ambiente ácido detectado en la vitrina que contiene las balas. Con el fin de clarificar este punto se llevaron a cabo varios ensayos de meteorización inducida en el laboratorio. Dichos ensayos se diseñaron teniendo en cuenta que la capa blanquecina de la superficie de las balas estaba formada mayoritariamente por formiato de plomo y que dicha sal puede proceder de la combinación de una humedad relativa y temperatura considerables con los diversos materiales con los que está constituida la vitrina (molduras, aglomerados, sellantes, pinturas, soportes plásticos, tejidos, etc.), o bien de los propios bienes culturales expuestos en la vitrina, por ejemplo de los recubrimientos de las propias balas. A continuación se describen los ensayos realizados.

Ensayo 1: consistió en introducir en un recipiente cerrado de vidrio de

laboratorio una muestra de plomo no recubierta junto con serrín de aglomerado común y un sensor de acidez. Después de un mes se comprobó, mediante la respuesta del sensor, que el ambiente dentro del recipiente era sensiblemente ácido, aunque no se detectó corrosión ni formación de capa blanquecina de formiato de plomo en la superficie de la muestra de plomo. Por lo tanto se puede deducir que, en ausencia del recubrimiento protector, el plomo no se corroe y que existe una relación directa entre el recubrimiento y la formación de la capa de corrosión de formiato de plomo. Esto se puede explicar porque el Inrcral 44® contiene, entre otros componentes, tolueno y etanol que, junto con los residuos procedentes de la limpieza de las balas, pueden favorecer la formación de formiato de plomo, incluso después del secado durante varios días. Hay que tener en cuenta que las balas están contenidas en un recipiente de PMMA (fig. 6a) y que dicho polímero es sensible a algunos disolventes orgánicos, entre otros, tolueno y acetona. Por ello es posible que los productos de alteración que se generan puedan dar lugar a ácido fórmico, que atacaría las balas de plomo y otros materiales sensibles presentes en la vitrina.

Ensayo 2: consistió en preparar tres recipientes cerrados de vidrio conteniendo cada uno por separado:

- una muestra de PMMA, unos mililitros de Inrcral 44® y un sensor de acidez
- una muestra de polietileno (PE), unos mililitros de Inrcral 44® y un sensor de acidez
- unos mililitros de Inrcral 44® y un sensor de acidez (control o blanco, sin muestras de polímero).

El resultado de la respuesta de los sensores de acidez se presenta en la fig. 6b, e indica que en el recipiente sin muestra de polímero (control o blanco) el microambiente es prácticamente neutro, mientras que en presencia de muestras de polímeros el pH del ambiente es sensiblemente ácido, siendo más acusado en el caso del PE. Esto significa que el PE es el polímero que, en presencia de las emisiones de Inrcral 44®, produce más especies ácidas, seguido del PMMA.

Ensayo 3: este ensayo de confirmación consistió en sumergir una muestra de PMMA en Inrcral 44®. Como puede observarse en la fig. 6c, la superficie del PMMA quedó totalmente atacada, lo que indica que la degradación del PMMA, favorecida por los disolventes del Inrcral 44®, origina compuestos que crean un ambiente ácido dentro de la vitrina. Dicho entorno ácido, favorecido por la humedad relativa y la temperatura, es el responsable de los fenómenos de corrosión detectados en las balas de plomo.

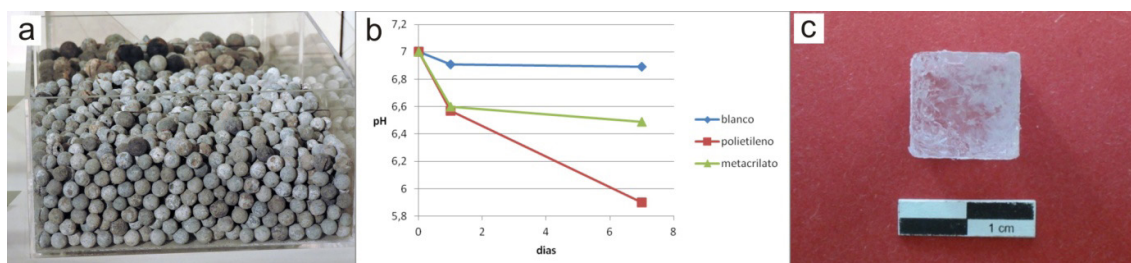


Figura 6 a) Balas de plomo en el contenedor de PMMA dentro de la vitrina en la que se exponen, b) resultados de acidez ambiental del ensayo 2 de meteorización inducida, c) aspecto de una muestra de PMMA después de su inmersión en Inrcral 44®.

4. CONCLUSIONES

Las balas de plomo procedentes del pecio del galeón San Diego están constituidas por una aleación de plomo de calidad Pb-5 (99,91 % Pb), según la Norma UNE 37201-89. Su estructura metálica es monofásica y consiste en granos columnares y equiaxiales de plomo. Su capa de alteración/corrosión natural está compuesta por óxido, cloruro y carbonato de plomo. Los depósitos de formiato de plomo detectados son consecuencia de un efecto sinérgico de los materiales de la vitrina en que se exponen y de los productos utilizados para su limpieza y conservación.

El uso de sensores de acidez ambiental para la determinación del pH dentro de la vitrina del museo alertó de un ambiente ácido y, asimismo, la utilización de sensores en los experimentos de meteorización inducida demostró la versatilidad del uso de los mismos a la hora de investigar el origen de los problemas de restauración y/o conservación preventiva de bienes culturales.

Sería aconsejable no utilizar la resina protectora Inrcral 44® en las piezas de plomo. Dicha resina está especialmente indicada para aleaciones de cobre en exteriores. Es conveniente airear las vitrinas que han albergado piezas tratadas con la resina e incorporar algún absorbente (carbón activado) y/o practicar una pequeña perforación en los vidrios de las vitrinas para permitir su ventilación.

Es recomendable utilizar un tratamiento de limpieza química de los objetos de plomo procedentes de ambientes marinos menos agresivo (decapantes diluidos, microabrasivos suaves); permitir que generen una capa de pasivación natural en un ambiente neutro antes de ser expuestas en el museo; regular en el museo/vitrina la temperatura <25°C y la humedad relativa <30-50 %; y realizar controles periódicos de la acidez ambiental en los espacios expositivos y en el interior de las vitrinas. Estas recomendaciones ya se han implementado en el Museo Naval y los controles posteriores han confirmado que los problemas se han corregido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación parcial de los proyectos: Nuevas metodologías en la gestión museológica (MINECO ref. HAR2012-30769) y Programa Geomateriales 2 Tecnologías y conservación de geomateriales del patrimonio (Comunidad de Madrid y Fondos estructurales de la Unión Europea ref. S2013/MIT-2914). Asimismo, agradecen el apoyo profesional de la Red TECHNOHERITAGE de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural. J. Peña agradece un contrato al Programa Geomateriales 2.

BIBLIOGRAFÍA

- García-Heras, M., Kromka, K., Faber, J., Karaszkiwicz, P. & Villegas, M.A. 2005. "Evaluation of air acidity through optical sensors". *Environmental Science and Technology*, 39 (10): 3743-3747.
- Llorente-Alonso, A., Pena-Poza, J., de Arcas, G., García-Heras, M., López, J.M. & Villegas, M.A. 2013. "Interface electronic system for measuring air acidity with optical sensors". *Sensors and Actuators A-Physical*, 194: 67-74.
- Peña-Poza, J., García-Heras, M., Palomar, T., Laudy, A., Modzelewska, E. & Villegas, M.A. 2011. "Environmental evaluation with chemical sensors in the Palace Museum of Wilanów". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 59 (3): 247- 252.
- Peña-Poza, J., Conde, J.F., Agua, F., García-Heras, M. & Villegas, M.A. 2013. "Application of sol-gel based sensors to environmental monitoring of Mauméjean stained glass windows housed in two different buildings at downtown Madrid". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52 (6): 268-276.
- Peña-Poza, J., Agua, F., Conde, J.F., de San Pío, P., García Ramírez, S., Gálvez Farfán, J.M., Moreno Martín, J.M., González Rodrigo, M., García-Heras, M. & Villegas, M.A. 2014. "Air quality assessment and protection treatments impact on the collection of the Museo Naval (Madrid, Spain)". En *Science, Technology and Cultural Heritage* (Ed. M.A. Rogerio-Candelera), A.A. Balkema Publishers, London, pp. 47-52.
- Villegas Broncano, M.A., García Heras, M., Peña Poza, J., de Arcas Castro, G., Barrera López de Turiso, E., López Navarro, J.M. & Llorente Alonso, A. 2010. *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo*. Patente P201031071, 14 julio 2010.

