

Estudio arqueométrico de muestras procedentes de mosaicos romanos de Itálica y Carmona (Sevilla)

Teresa Palomar

**Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid**

teresa.palomar@cchs.csic.es

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados del estudio arqueométrico realizado en muestras de mosaicos romanos procedentes de Itálica y Carmona (Sevilla). El objetivo principal del estudio consistió en la caracterización químico-física de teselas de vidrio y fragmentos de mortero para determinar su composición, evaluar su estado de conservación y estudiar su tecnología de fabricación. Las muestras se caracterizaron mediante lupa binocular, microscopía electrónica de barrido y microanálisis de dispersión de energía de rayos X, espectrofotometría visible, difracción de rayos X y análisis petrográfico. Los resultados indicaron que las teselas se realizaron con vidrio de silicato sódico cálcico, aunque una de ellas mostró elevados contenidos de óxidos de plomo y cobre. Las muestras procedentes de Itálica presentaron una menor degradación que las de Carmona, como consecuencia de la humedad retenida por el mosaico. Asimismo, los resultados indicaron que en las teselas se utilizó un vidrio de inferior calidad técnica que el empleado en piezas de vajilla.

Palabras clave:

Vidrio, Mosaicos, Teselas, Itálica, Carmona, Arqueometría.

ABSTRACT

This work reports results of the archaeometric study carried out on Roman mosaic samples from Italica and Carmona (Spain). The main objective of the research was the chemical-physical characterization of both glass tesserae and mortar fragments to determine their composition, to evaluate their state of conservation and to study their production technology. Samples were characterized by binocular glass, scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry, visible spectrophotometry, X-ray diffraction and petrographic analysis. Results indicated that tesserae were made with soda-lime silicate glass, even though one of them showed high contents of lead and copper oxides. Italica samples showed a lower degradation than those from Carmona, as a consequence of humidity retained by the mosaic. Results also indicated that glass used in tesserae had a lower technical quality than that used in tableware pieces.

Keywords:

Glass, Mosaics, Tesserae, Italica, Carmona, Archaeometry.

Rebut: 1 septembre 2010; Acceptat: 1 decembre 2010

RESUM

Aquest treball presenta els resultats de l'estudi arqueomètric portat a terme en mostres de mosaics romans procedents d'Itàlica i Carmona (Sevilla). L'objectiu principal de l'estudi va consistir en la caracterització química-física de tesselles de vidre i fragments de morter per a determinar la seva composició, avaluar el seu estat de conservació i estudiar la seva tecnologia de fabricació. Les mostres es varen caracteritzar mitjançant lupa binocular, microscòpia electrònica de rastreig i microanàlisi de dispersió d'energia de raigs X, espectrofotometria visible, difracció de raigs X i anàlisi petrogràfic. Els resultats varen indicar que les tesselles es realitzaren amb vidre de silicat sòdic càlcic, tot i que una d'elles va mostrar elevats continguts d'òxids de plom i coure. Les mostres procedents d'Itàlica presentaren una menor degradació que les de Carmona, com a conseqüència de la humitat retinguda per el mosaic. Així mateix, els resultats varen indicar que en les tesselles es va fer servir un vidre d'inferior qualitat tècnica que l'emprat en peces de vaixel·la.

Paraules Clau:

Vidre, Mosaics, Tesselles, Itàlica, Carmona, Arqueometria.

INTRODUCCIÓN

El mosaico es un elemento decorativo que está formado por pequeñas piezas denominadas teselas, las cuales se distribuyen por la superficie ajustándose a un dibujo o patrón realizado previamente. Estas piezas, en general, tienen forma cúbica y pueden ser de diferentes materiales como piedra, mármol, cerámica o vidrio. La distinta coloración de las teselas permite elaborar desde sencillos motivos geométricos hasta complicadas representaciones figurativas.

Los mosaicos más antiguos se utilizaron como decoración mural. Un ejemplo se encuentra en la antigua ciudad de Uruk (IV milenio a.C.), en el que pequeños conos de barro cocido de color negro, rojo y blanco forman motivos geométricos muy sencillos. Durante los s. VII-III a.C., los mosaicos de guijarros, procedentes de río o de mar, se expandieron por el Mediterráneo y se utilizaron para decorar principalmente el suelo de templos y santuarios. Este tipo de mosaico se continuó fabricando para casas privadas hasta el s. I a.C. No obstante, el máximo desarrollo del mosaico se produjo en el s. III a.C. con el uso regular de teselas de diferentes materiales que ampliaron la paleta de colores y formas no conseguidas hasta entonces.

En la Península Ibérica, los mosaicos más an-

tiguos se fechan entre los ss. VII al IV a.C. Están elaborados con pequeños guijarros que representan sencillos motivos geométricos. Tras la conquista romana (s. III-II a.C.), artesanos procedentes del Lazio se establecieron en las principales ciudades de la Península Ibérica. Estos artesanos fundaron talleres locales en los que elaboraron mosaicos con motivos y técnicas itálicas. La utilización de teselas policromas no se produjo hasta el s. II d.C. y fue contemporánea al pavimento en blanco y negro que se siguió empleando hasta el s. IV d.C. (DUNBABIN, 1999; BLÁZQUEZ, n.d.; RAMALLO ASENSIO, 1990).

El yacimiento de Itálica (Santiponce, Sevilla) es un ejemplo de la variedad presente en los mosaicos. En este yacimiento se han documentado más de un centenar de estos pavimentos, entre los que se encuentran desde grandes obras de rica decoración y policromía hasta mosaicos sencillos menos lujosos. Desgraciadamente, buena parte de estos mosaicos se han perdido como consecuencia del expolio o de su mala conservación, y muchos de los que se conservan están sometidos a las inclemencias del tiempo, como el sol, la lluvia y el hielo, así como a la fauna y flora propia de la zona que los ha ido disgregando y atacando lentamente (García y Bellido, 1985). Estudios

previos realizados sobre diversos mosaicos de Itálica muestran el avanzado estado de biodegradación que han sufrido las teselas (GARCIA-ROWE y SAIZ-JIMENEZ, 1988; SAIZ-JIMENEZ et al., 1991) y el mortero (PUERTAS et al., 1994; ARIÑO et al., 1997).

El objetivo principal de este trabajo consistió en la caracterización arqueométrica de dos conjuntos de materiales, compuestos por teselas de vidrio y por fragmentos de mortero, procedentes de tres mosaicos de Itálica y de un mosaico de Carmona. La caracterización se realizó con el propósito de determinar su composición química y evaluar su estado de conservación para diagnosticar los mecanismos de degradación que han tenido lugar en dichos materiales. Por último, el trabajo también se centró en determinar algunos aspectos tecnológicos de la producción de estos materiales.

PARTE EXPERIMENTAL
DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se han estudiado dos conjuntos de muestras procedentes de los yacimientos de Itálica y Carmona (Sevilla). Las muestras del yacimiento de Itálica (Santiponce, Sevilla) proceden de tres mosaicos diferentes fechados en el s. II d.C.: el mosaico del Laberinto de la Casa de Neptuno, el mosaico del Planetario de la Casa del Planetario y el mosaico Tellus de la Casa de los Pájaros. El conjunto de piezas está compuesto por un total de ocho muestras: cinco fragmentos de tesela y tres fragmentos del mortero de agarre (tabla I). Ninguna de las muestras supera los 2 centímetros de longitud. Las muestras de Tellus y el Laberinto presentaron en el momento de la toma de muestra, antes de 1991, partes del mortero original y evidencias de biodeterioro ocasionado por líquenes (Saiz-Jimenez et al., 1991).

Nombre	Mosaico	Muestra	Color
I-1	Laberinto	Fragmento tesela	Turquesa
I-2	Laberinto	Fragmento tesela	Azul claro
I-3	Laberinto	Mortero	Verde oscuro
I-4	Laberinto	Mortero	-
I-5	Laberinto	Mortero	-
I-6	Planetario	Fragmento tesela	Azul oscuro
I-7	Tellus	Fragmento tesela	Azul grisáceo
I-8	Tellus	Fragmento tesela	Verde oscuro
C-1	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Turquesa
C-2	Cuatro Estaciones	Tesela completa	Turquesa
C-3	Cuatro Estaciones	Mortero	Verde
C-4	Cuatro Estaciones	Mortero	Verde
C-5	Cuatro Estaciones	Mortero	-
C-6	Cuatro Estaciones	Mortero	Blanco
C-7	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Azul grisáceo
C-8	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Azul oscuro
C-9	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Gris
C-10	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Azul oscuro
C-11	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Gris
C-12	Cuatro Estaciones	Fragmento tesela	Gris

Tabla 1. Descripción de las muestras estudiadas.

El segundo conjunto de muestras procede de un fragmento de mosaico recientemente descubierto durante unas obras realizadas en Carmona (Sevilla). El fragmento pertenece al ángulo inferior derecho de un mosaico de grandes dimensiones que representa las cuatro estaciones. El conjunto se compone de una tesela completa, siete fragmentos de tesela y cuatro fragmentos de mortero (tabla I). Los fragmentos de tesela se tomaron directamente de la cara

interna del mosaico. Los fragmentos de mortero presentaron restos de las capas de gel de sílice de las teselas que estaban adheridas. El color especificado en la tabla I para las muestras de mortero hace referencia al color de esta capa de gel de sílice.

TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Las técnicas de caracterización utilizadas para el estudio de las piezas han sido las siguientes: lupa binocular, microscopía electrónica de barrido y microanálisis de dispersión de energía de rayos X (MEB-EDS), espectrofotometría visible por reflexión, difracción de rayos X (DRX) y análisis petrográfico.

Las observaciones con lupa binocular se realizaron con un aparato marca Leica modelo MZ16, provisto de una cámara fotográfica Leica modelo DC300. Las observaciones de microscopía electrónica de barrido (MEB) se llevaron a cabo con un microscopio Hitachi modelo S-3400-N (CCHS). Las muestras se observaron en superficie y en sección pulida. Previamente fueron recubiertas con carbono como medio conductor, utilizando un recubri-

dor Sputter Coater Polaron SC7620. Los microanálisis por EDS se efectuaron con un espectrómetro microanalizador Bruker AXS (133eV) acoplado al microscopio.

El estudio de los cromóforos se realizó mediante espectrofotometría visible de reflexión con un equipo Ocean Optics modelo HR 4000 CG. Los espectros se registraron en el intervalo de longitud de onda de 250-1100 nm.

La determinación de fases cristalinas se realizó mediante un difractómetro Phillips X'Pert MPD, utilizando la radiación $K\alpha$ del cobre (1,54056 Å), en condiciones de trabajo de 45 kV y 40 mA. Los difractogramas se registraron entre $2\theta = 5-60^\circ$ a partir de muestra en polvo molida en mortero de ágata hasta un tamaño de grano inferior a 30 μm .

El análisis petrográfico se llevó a cabo con un microscopio óptico de luz transmitida Kyowa modelo Bio-Pol 2, equipado con un dispositivo de polarización y pletina giratoria. Las micrografías petrográficas se obtuvieron con una cámara digital Leica modelo DFC 480.

Análisis	Muestras									
	C-2		C-10		C-11		I-3		C-4	
	Int.	Dep.	Int.	Dep.	Int.	Dep.	Int.	Dep.	C. roja	Mortero
Na ₂ O	16,9	0,3	20,6	0,4	17,0	0,7	6,8	0,9	0,1	0,4
MgO	0,7	1,2	0,7	0,8	0,3	1,2	0,6	2,0	0,2	0,2
Al ₂ O ₃	2,5	9,6	3,0	5,8	2,2	5,8	3,0	10,7	2,1	1,6
SiO ₂	56,1	31,2	61,9	28,0	66,7	32,5	41,5	20,3	8,5	6,9
K ₂ O	1,2	2,6	0,7	2,4	0,8	1,7	0,5	2,3	1,0	0,7
CaO	8,5	25,8	7,4	14,8	7,2	16,0	7,5	42,9	66,4	87,8
TiO ₂	0,4	1,3	0,4	3,6	0,2	3,6	n.d.	1,4	0,6	n.d.
Fe ₂ O ₃	1,1	10,5	1,0	16,4	1,0	12,9	4,9	10,2	19,2	1,6
P ₂ O ₅	0,2	1,8	0,1	1,6	n.d.	1,2	0,1	1,0	0,1	0,4
SO ₂	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cl	0,7	0,4	1,1	0,4	1,0	0,3	0,8	n.d.	n.d.	0,2
Sb ₂ O ₃	3,9	n.d.	1,5	n.d.	2,3	0,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PbO	1,0	5,5	0,6	5,0	0,8	8,4	22,3	1,9	1,1	0,3
CoO	n.d.	n.d.	n.d.	1,5	n.d.	1,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CuO	5,9	2,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9,8	1,5	n.d.	n.d.
MnO	0,8	7,8	0,9	19,5	0,5	13,6	0,2	5,0	0,6	n.d.
SnO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,9	n.d.	n.d.	n.d.

Tabla 2.- Resultados de los microanálisis de EDS de las muestras estudiadas. Abreviaturas: Int. (cuerpo interno de la muestra), Dep. (depósitos oscuros). C. roja (capa roja) n.d. (no detectado).

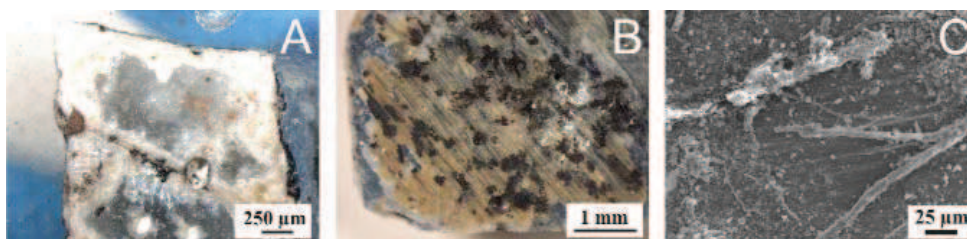


Figura 1.-. A) Imagen de lupa binocular de la capa de irisación de la muestra C-11. B) Imagen de lupa binocular de los depósitos oscuros de la muestra C-7. C) Imagen de MEB de los depósitos calcáreos de la muestra C-10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL DE LOS VIDRIOS

Los fragmentos de teselas procedentes de Itálica presentaron las patologías habituales de un ataque químico de origen biológico, como pusieron de manifiesto trabajos anteriores efectuados con las mismas piezas (SAIZ-JIMENEZ et al., 1991). La superficie de estas muestras no presentó, sin embargo, evidencias del ataque biológico, probablemente debido a la manipulación que han experimentado las muestras desde que se tomaron (hace veinte años) y que determinó posiblemente la eliminación de los productos de corrosión y otras evidencias de deterioro de origen biológico. Por otra parte, las muestras del mosaico de Carmona presentaron roturas, grietas y desgastes. Además, en la superficie de estas muestras se observaron capas de irisación, depósitos oscuros y posibles depósitos calcáreos.

Todas las teselas de vidrio de Carmona presentaron capas de irisación o de gel de sílice (fig. 1 A). Las capas de irisación se originan por la desalcalinización de la superficie. La humedad del suelo en contacto con las piezas provoca el intercambio iónico de los protones del agua con los óxidos de elementos alcalinos y alcalinotérreos (Na_2O , K_2O , MgO) del vidrio según la reacción:

La humedad se propaga a través de las fractu-

ras de las piezas. Por ello, también se forman capas de irisación en el interior de las teselas que podrían afectar mecánicamente la integridad de las piezas (fig. 1 A). Las capas de gel de sílice presentaron una coloración blanquecina o amarillenta. La diferencia de color es consecuencia del contenido de óxido de hierro (Fe_2O_3).

Entre las capas de irisación de las piezas C-2 y C-6 – C-12 se detectaron depósitos oscuros de forma dendrítica (fig. 1 B). Estos depósitos recubren a veces toda la superficie de la muestra como en el fragmento C-10. Los microanálisis realizados en los depósitos oscuros de las piezas más atacadas (fragmentos C-2, C-10 y C-11) mostraron un elevado contenido en óxido de plomo (PbO), óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de manganeso (MnO) (tabla II).

En la superficie de las muestras C-10, C-11 y C-12 se detectaron estructuras filamentosas con un alto contenido de óxido de calcio (CaO) (fig. 1 C), que podrían ser el resultado de actividad biológica como se ha documentado en trabajos anteriores (GARCIA-ROWE y SAIZ-JIMENEZ, 1988; SAIZ-JIMENEZ et al., 1991).

CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO DE LOS VIDRIOS

La caracterización del cuerpo interno de la tesela aporta valiosa información sobre el vidrio original porque, a diferencia de la superficie, no ha sufrido procesos de degradación. Sólo 4

muestras (I-3, C-2, C-10 y C-11) de un total de 20 tuvieron suficiente tamaño para realizar un estudio con garantías del interior de la pieza.

La composición química de las muestras C-2, C-10 y C-11 se corresponde con un vidrio de silicato sódico cálcico (tabla II). Esta es la composición habitual de la mayoría de los vidrios romanos. La observación macroscópica del cuerpo interno de las piezas C-10 y C-11 reveló un vidrio translúcido, con abundantes burbujas e infundidos de color marrón y negro (fig. 2). Estas características indicaron que se trataba de un vidrio de baja calidad y deficientemente afinado.

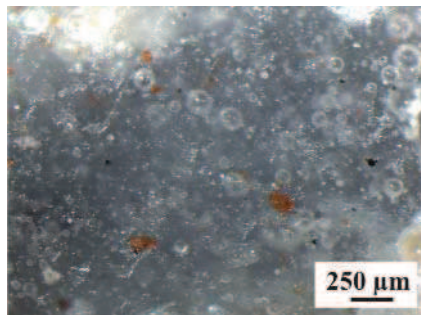


Figura 2.- Imagen de lupa binocular de las burbujas e infundidos de la muestra C-11.

La muestra C-2 es un vidrio opaco de coloración turquesa. Los microanálisis realizados en la superficie pulida de la pieza mostraron un alto contenido en óxido de antimonio ($\text{Sb}_2\text{O}_3 = 3,9\%$ en peso) que puede atribuirse a la presencia de antimoniato de calcio. Este compuesto se utilizó como opacificante hasta el s. V d.C. en la Península Ibérica (TITE et al., 2008; RICCIARDI et al., 2009; FOSTER y JACKSON, 2005).

Por el contrario, la muestra I-3 presentó una composición muy diferente a las otras piezas analizadas. Se trata de un vidrio de silicato sódico cálcico con elevados contenidos de óxido de plomo ($\text{PbO} = 22,3\%$ en peso) y óxido de

cobre ($\text{CuO} = 9,8\%$ en peso) (tabla II). Esta composición es similar a la utilizada en fritas y esmaltes de azulejos de cronología posterior (Rincon et al., 2008) y sugiere una posible reutilización de restos de otros vidrios.

CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DE LOS VIDRIOS

Las muestras estudiadas no presentaron un tamaño suficiente para preparar una lámina con la que realizar un espectro de absorción. Por ello, el estudio de los cromóforos se realizó mediante espectrofotometría visible de reflexión, a pesar de que la señal así obtenida es más débil y de menor resolución que la que se obtiene por absorción.

Las muestras de vidrio son de color azul, turquesa, verde o gris (tabla I). El estudio de las muestras I-1, I-6, I-7, I-8, C-2, C-10 y C-11, determinó que los cromóforos más habituales son los iones Cu^{2+} , para los vidrios de color azul claro y turquesa; Co^{2+} , para vidrios azul oscuro; y el par redox $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, para los vidrios de color verdoso y gris. La fig. 3 presenta el espectro de reflexión de la muestra I-7 en el que se determinaron las bandas de reflexión del ión Co^{2+} (540, 596 y 651 nm, respectivamente) y

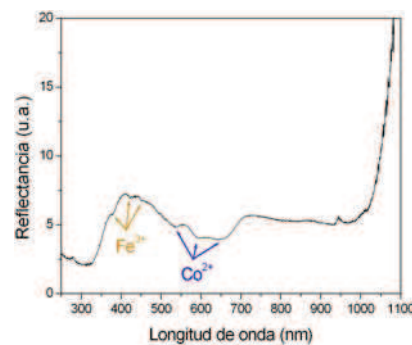


Figura 3.- Espectro de reflexión óptica de la muestra I-7 de color azul grisáceo.

del ión Fe^{3+} (380, 425 y 457 nm, respectiva-

mente). El color azul grisáceo de la muestra se atribuye a la combinación cromática de ambos cromóforos.

CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO

El mortero es la capa, junto con el *nucleus*, el *rudus* y el *statumen*, sobre la cual se asientan las teselas (Dunbabin, 1999). Las muestras de mortero estudiadas (I-3, I-4, I-5, C-3, C-4 y C-6) presentaron restos de las capas de irisación de las teselas extraídas. Estas capas se encontraron muy fragmentadas y fisuradas y en algunas muestras (C-4, C-5, C6) presentaron depósitos oscuros con elevados contenidos de óxido de plomo (PbO), óxido de hierro (Fe₂O₃) y óxido de manganeso (MnO), al igual que los fragmentos de tesela (apartado 3.1).

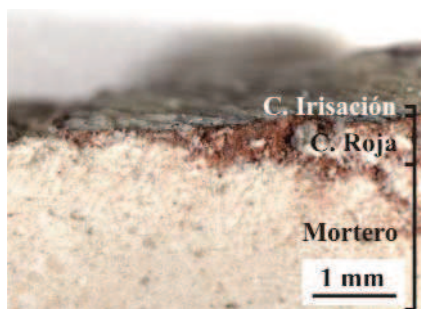


Figura. 4.- Imagen de lupa binocular de las diferentes capas presentes en la muestra C-4.

Los resultados de la composición química del mortero (87,8 % CaO; 6,9 % SiO₂ en peso), las fases detectadas por difracción de rayos X (calcita y cuarzo) y el estudio petrográfico, indicaron la utilización de un mortero de cal común con una pequeña proporción de arena de sílice. La muestra C-4 es la única muestra que además presentó una capa roja, de espesor variable y aspecto poroso, entre el mortero y la capa de irisación (fig. 4). El análisis de esta capa (tabla II) indicó un elevado contenido de Fe₂O₃ (19,2 % en peso). Esta capa podría corresponderse con las guías o el diseño anterior que realizaban

los artesanos antes de confeccionar el mosaico (DUNBABIN, 1999).

CONCLUSIONES

La caracterización arqueométrica de un conjunto de muestras de mosaicos procedentes de Itálica y Carmona ha permitido determinar la composición química de las teselas de vidrio y su estado de conservación. La mayoría de las teselas se realizó con un vidrio de silicato sódico cálcico, que es la composición habitual del vidrio romano utilizado en piezas de vajilla y acristalamientos para ventanas. No obstante, una de las muestras de Itálica presentó una composición distinta caracterizada por la presencia de elevados contenidos de óxidos de plomo y cobre. Esta composición podría sugerir la reutilización o el reciclado de restos de otros vidrios. La presencia de burbujas, cuerdas e infundidos indica, además, que para las teselas de los mosaicos se utilizó un vidrio de inferior calidad técnica que el empleado en piezas de mesa.

Las muestras estudiadas procedentes de Itálica presentaron huellas de ataque químico de origen biológico, aunque no se detectaron restos directos de actividad biológica. Por el contrario, las muestras procedentes del mosaico de Carmona presentaron un grave deterioro superficial. La profunda desalcalinización que han sufrido las piezas ha provocado la formación de gruesas capas de irisación que, junto con la formación de depósitos oscuros, ha transformado la superficie. Además, la degradación también ha afectado a la integridad de las piezas que se han fisurado, fracturado y fragmentado de forma irreversible.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece la financiación parcial del Programa Consolider Ingenio 2010 ref. TCP-CSD 2007-00058 y del proyecto s2009/MAT-1629; una beca predoctoral FPU al Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN); a D^a Celia

Márquez Goncer, restauradora, y al Prof. Cesáreo Saiz Jiménez (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC) la cesión de las muestras para su estudio; a los Dres. M^a Ángeles Villegas y Manuel García-Heras su colaboración en la realización de este trabajo; el apoyo profesional de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural (RTPHC).

BIBLIOGRAFÍA

ARIÑO, X., GOMEZ-BOLEA, A. y SAIZ-JIMENEZ, C. (1997): Lichens on ancient mortars, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40, 217-224.

BLÁZQUEZ, J. M. (n.d.): El mosaico romano en Hispania. <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=21223&portal=114>.

DUNBABIN, K. M. D. (1999): *Mosaics of the Greek and Roman World*, New York: Cambridge University Press.

FOSTER, H. E. y JACKSON, C. M. (2005): 'A whiter shade of pale'? Chemical and experimental investigation of opaque white Roman glass gaming counters, *Glass Technology*, 46, 327-333.

GARCIA-ROWE, J. y SAIZ-JIMENEZ, C. (1988): Colonization of mosaics by lichens: the case study of Itálica (Spain), *Studia Geobotanica*, 8, 65-71.

GARCÍA Y BELLIDO, A. (1985): *Andalucía monumental. Itálica*, Sevilla: Editoriales Andaluzas Unidas, S.A.

PUERTAS, F., BLANCO-VARELA, M. T., PALOMO, A., ORTEGA-CALVO, J. J., ARIÑO, X. y SAIZ-JIMENEZ, C. (1994): Decay of Roman and repair mortars in mosaics from Itálica, Spain, *The Science of the Total*

Environment, 153, 123-131.

RAMALLO ASENSIO, S. (1990): Talleres y escuelas musivas en la Península Ibérica, Mosaicos Romanos. Estudios sobre iconografía; (pp. 135-180). Guadalajara: Asociación Española del Mosaico.

RICCIARDI, P., COLOMBAN, P., TOURNIÉ, A., MACCHIAROLA, M. y AYED, N. (2009): A non-invasive study of Roman Age mosaic glass tesserae by means of Raman spectroscopy, *Journal of Archaeological Science*, 36, 2551-2559.

RINCON, J. M., BLANCO, M. T., SANCHEZ-ROJAS, M. I. y ROMERO, M. (2008): Colours from the glazed tiles inserted in the Blaster mudejar façade of Pedro I, Sevilla Royal Palaces, en UNIVERSIDADE DE EVORA (ed.) COLOURS 2008: Bridging Science with Art; (pp. 156-184). Evora.

SAIZ-JIMENEZ, C., GARCIA-ROWE, J. y RODRIGUEZ-HIDALGO, J. M. (1991): Biodeterioration of polychrome Roman mosaics, *International Biodeterioration*, 28, 65-79.

TITE, M., PRADELL, T. y SHORTLAND, A. (2008): Discovery, production and use of tin-based opacifiers in glasses, enamels and glazes from the Late Iron Age onwards: a reassessment, *Archaeometry*, 50, 67-84.