

Metodología para el estudio de morteros arqueológicos de revestimiento

Teresa López Martínez, M^a del Rosario Blanc García, Ana García Bueno

Resumen: Para el estudio de una pintura mural arqueológica resulta de gran importancia el análisis de su soporte, esto es, del mortero. En este artículo se muestra la metodología seguida para el estudio comparativo de morteros procedentes de diversos ejemplos de pintura mural cuya cronología comprende desde época romana hasta época califal. Para su examen se ha llevado a cabo un análisis visual y una toma de muestra; las muestras seleccionadas han sido estudiadas con diferentes técnicas instrumentales: microscopía estereoscópica, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) y difracción de rayos X. Además, dada la similitud de los resultados obtenidos en estos primeros análisis, se procedió también a la realización de un estudio para establecer la distribución granulométrica y la relación entre aglomerante y árido. Todo ello ha permitido la caracterización de los diferentes estratos de mortero así como establecer diferencias y semejanzas entre los morteros pertenecientes a las distintas cronologías.

Palabras clave: arqueometría, pintura mural, mortero, cal

Methodology for the study of archaeological rendering mortars

Abstract: In the study of an archaeological wall painting, the analyze of its support, the mortar, has a great importance. In this paper, the methodology followed for the comparative study of mortars from various examples of wall painting whose chronology ranges from roman to caliphate times is shown. For the examination of the mortars a visual analysis and a sampling have been carried out; the selected samples have been studied with different instrumental methods: stereoscopic microscopy, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM-EDX) and X-ray diffraction. In addition, because of the similarity of the results obtained in these first analyses, a study was also carried out to establish the distribution of the aggregate and the relationship between binder and aggregate. All this has allowed the characterization of the different layers of mortar as well as establishing differences and similarities between the mortars belonging to the different chronologies.

Keyword: archaeometry, wall painting, mortar, lime

Metodologia para o estudo de argamassas de revestimento arqueológico

Resumo: Para o estudo de uma pintura mural arqueológica é importante a análise do seu suporte, a argamassa. Este artigo dá a conhecer a metodologia seguida para o estudo comparativo de argamassas de vários exemplos de pintura mural, cuja cronologia vai da época romana à época do califado. Foi realizada uma análise visual e recolha de amostras; as amostras selecionadas foram estudadas com diferentes técnicas instrumentais: microscopia estereoscópica, microscopia ótica, microscopia eletrónica de varrimento (SEM-EDX) e difração de raios X. Além disso, dada a similaridade dos resultados obtidos nestas primeiras análises, procedeu-se também à realização de um estudo para estabelecer a distribuição do tamanho das partículas e a relação entre o aglutinante e o agregado. Tudo isto permitiu caracterizar as diferentes camadas de argamassa bem como estabelecer diferenças e semelhanças entre as argamassas pertencentes às diferentes cronologias.

Palavras-chave: arqueometria, pintura mural, argamassa, cal

Introducción

Como indica Abad Casal (2008), la pintura mural ha sido durante mucho tiempo la pariente pobre de la Arqueología; sin embargo el análisis de sus materiales constitutivos resulta de gran importancia tanto para su estudio y difusión como para su conservación y restauración. En este sentido, el estudio específico de los morteros presenta gran relevancia.

Se ha comprobado que según la época a la que pertenecen los revestimientos, el número de estratos de mortero varía, al igual que la naturaleza de su aglomerante o del árido empleado y la adición de materiales que aportan propiedades específicas a la argamasa (Coupry 2001). Si bien en muchas ocasiones dichas características quedan recogidas en los textos clásicos, no siempre se corresponde con lo identificado y documentado en el material arqueológico; notorio es el caso de los textos de Vitruvio quien recomienda la aplicación de siete estratos de mortero, sin embargo, dicho número solo ha sido identificado en dos casos de pintura mural (Olmos Benlloch 2006). Por otro lado, según el revestimiento al que pertenecen, los morteros también presentan modificaciones en la relación entre aglomerante y árido, siendo las más habituales en morteros antiguos 1:1, 1:2 y 1:3, y en la distribución y tamaño del árido empleado (Flores Alés, Guiraúm Pérez y Barrios Sevilla 1997).

Numerosos son los estudios que se han realizado para la caracterización de morteros empleados en revestimientos arquitectónicos de procedencia arqueológica, sobre todo aquellos de época romana (Weber, Prochaska y Zimmermann 2009; Gutman *et al.* 2016; Ergenç *et al.* 2018; Ergenç y Fort 2019); sin embargo, son muy pocos los que analizan, siguiendo la misma metodología, muestras procedentes de distintas épocas y de un entorno geográfico próximo, de manera que sea posible intuir los cambios que se producen en su elaboración a lo largo de las distintas épocas.

En este trabajo se presenta, por lo tanto, la metodología establecida para el estudio de morteros pertenecientes a revestimientos murales procedentes de distintos sitios arqueológicos, localizados en las provincias colindantes de Jaén y Córdoba, y cuya cronología abarca desde época romana hasta época califal. Concretamente, se han analizado dos pinturas murales procedentes del Conjunto Arqueológico de Cástulo (Jaén), una de época romana (CR) y otra de época tardoantigua (TA), y tres revestimientos procedentes de la localidad de Córdoba, correspondientes a una decoración parietal de época romana hallada en la excavación de Parque Infantil de Tráfico (PIT), a unos revestimientos de época emiral hallados en la excavación de Miraflores (MIR) y a unas pinturas murales de época califal pertenecientes a la excavación de Hospital Reina Sofía (HRS).

Metodología

La metodología establecida se ha basado en tres aspectos fundamentales, que a continuación se detallan: un análisis

visual, un estudio arqueométrico y un estudio de la proporción y distribución del árido.

Análisis visual

En primer lugar se ha realizado un examen visual del mortero, gracias al cual ha sido posible diferenciar y establecer el número de estratos de mortero que presenta cada revestimiento, así como características macroscópicas como el color de los distintos estratos, la presencia de improntas dejadas por elementos externos o aditivos como la paja e, incluso, el sistema de agarre entre las distintas capas.

Toma de muestra

Una vez identificados los diversos estratos de mortero, se ha llevado a cabo la toma de muestras; ésta se ha realizado de manera sencilla con la ayuda de un escalpelo. Dado que los distintos estratos de mortero presentan claras diferencias entre sí en cuanto a tonalidad y granulometría se refiere, la individualización de cada uno de ellos se ha podido llevar a cabo gracias al análisis visual, sin requerir el empleo de otras técnicas más complejas.

Al tratarse de material arqueológico, es necesario recordar que debe primar siempre el respeto manifestado a la obra, por lo que no siempre será posible tomar el número y cantidad de muestra idónea para el estudio. Es por ello que, siempre que ha sido posible, se han empleado para el análisis de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido muestras tomadas para el estudio de la capa pictórica^[1].

Por lo tanto, de cada estrato de mortero identificado se ha tomado un mínimo de tres muestras destinadas al análisis de difracción de rayos X, tres muestras para el estudio de distribución granulométrica y tres muestras para el estudio de la proporción de aglomerante-árido; además, se han analizado tres muestras más en el caso de los dos estratos más superficiales de mortero, ya que son las que se habían preparado como lámina delgada para el estudio de la policromía, permitiendo el estudio del mortero también mediante microscopía petrográfica y microscopía electrónica de barrido [tabla 1].

Por otro lado, para facilitar la identificación de cada muestra se ha utilizado una nomenclatura que presenta varios niveles: en primer lugar una M, que indica que la muestra estudiada pertenece al mortero; en segundo lugar, las iniciales que indican el revestimiento del que proceden (CR, TA, PIT, MIR y HRS); en tercer lugar, un número que indica el estrato de mortero al que pertenece la muestra; finalmente, entre paréntesis, el número de muestra dentro del mismo estrato. Además, las muestras destinadas al análisis de la relación aglomerante-árido han sido señaladas con una doble A.

Tabla 1.- Número de muestras analizadas por cada uno de los estratos de mortero identificados en los revestimientos.

| Revestimiento | Estrato de mortero | Nº de muestras | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|----------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|-------|
| | | DRX | MOP y SEM | Distribución granulométrica | Relación aglomerante - árido | Total |
| Cástulo – época romana (CR) | 2º Estrato | 3 | | 3 | 3 | 9 |
| | 3º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | 4º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Cástulo – época tardoantigua (TA) | 1º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Córdoba – época romana (PIT) | 1º Estrato | 3 | | 3 | 3 | 9 |
| | 2º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | 3º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Córdoba – época emiral (MIR) | 1º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Córdoba – época califal (HRS) | 1º Estrato | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |

Estudio arqueométrico

Microscopía estereoscópica

El microscopio estereoscópico es un método sencillo muy útil para realizar un primer acercamiento a las muestras; al igual que en el análisis visual, esta técnica permite observar las principales características texturales y morfológicas del mortero con mayor profundidad, observando el color de cada estrato y la granulometría del mismo. Para el trabajo que aquí se presenta se ha empleado un microscopio estereoscópico NIKON SMZ1000 con una cámara incorporada DS-U3 Digital Camera, permitiendo de esta manera la toma de fotografías.

Microscopía óptica polarizada con luz reflejada (MOP)

Resulta una técnica básica para la identificación de fases y aspectos texturales. Para ello las muestras han sido preparadas como láminas delgadas y analizadas mediante un microscopio Carl Zeiss-Jena Jenalab y Olympus BX-60, con sistema de microfotografía DP-20. Gracias a esta técnica ha sido posible analizar el tamaño y la forma del árido presente en el último estrato de mortero, así como efectuar un estudio preliminar de su distribución.

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

El microscopio electrónico de barrido con microanálisis puntuales por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX) permite estudios composicionales elementales. Para este análisis se han empleado las láminas delgadas estudiadas mediante microscopía óptica polarizada, siendo metalizadas previamente mediante carbón. En este trabajo se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido S-510 de HITACHI, equipado con un espectrómetro de rayos X dispersivo de energía (EDX), Röntec.

Difracción de rayos X (DRX)

Esta técnica permite la identificación de las fases cristalinas constituyentes del mortero, además de la cuantificación de su proporción; debido a la naturaleza manual y artesana de los morteros y al carácter puntual que tiene el análisis de difracción de rayos X, es necesario señalar que la cuantificación que se realiza es aproximativa. Los análisis realizados para este trabajo se han efectuado mediante el método de difracción de polvo con un difractómetro PANalytical X'Pert Pro con detector lineal de estado sólido X'Celerator y con un difractómetro Bruker D8 ADVANCE con detector BRUKER LINSEYE.

Estudio de la proporción y distribución del árido

A pesar de la importancia que recae sobre la caracterización química y mineralógica de los diferentes componentes que constituyen un mortero, ésta ha resultado insuficiente para alcanzar un conocimiento en profundidad de sus características y comportamiento. Es por ello que estos análisis se han completado con estudios acerca de las características físicas del mismo.

Distribución granulométrica del árido

Para el estudio granulométrico se ha empleado una adaptación de la norma UNE-EN 933-1 "Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado"; el objetivo que queda registrado en esta norma es la definición de un método, empleando tamices, para la determinación de la granulometría del árido.

Como se ha mencionado anteriormente, se han analizado

tres muestras de cada uno de los estratos de mortero identificados; éstas han sido preparadas por vía seca y se ha registrado su peso inicial (para todas las medidas registradas en este trabajo se ha utilizado una balanza de precisión Mettler AE163 DQA 16 001, con una sensibilidad de 0,0001). Una vez disgregada la muestra se ha vertido la carga en una columna de tamices normalizados ensamblados en orden decreciente de tamaño de luz de malla; estos tienen un certificado de conformidad con el pedido según UNE-EN 10204 (2.1) y siguen la norma ISO 3310-1:2000; las luces de malla empleadas han sido las siguientes: 2,500, 1,250, 1,000, 0,800, 0,250, 0,125, 0,080 y 0,063 mm. El tamizado se ha llevado a cabo agitando manualmente la columna de tamices durante dos minutos y retirando, tras ello, los tamices uno a uno, comenzando con el de mayor tamaño de luz de malla. En el proceso de retirada, cada tamiz se ha agitado individualmente, comprobando que no se perdía material y utilizando, para ello, una tapa que cubriese el tamiz de menor luz de malla. Tras ello, se ha pesado el material retenido en cada uno de los tamices. Finalmente, los resultados obtenidos han sido representados gráficamente a través de una curva de distribución granulométrica.

Identificación de la relación aglomerante-árido

Para determinar la relación entre aglomerante/árido se ha llevado a cabo el método gravimétrico de precipitación química, para lo que se han tomado como referencia distintos ensayos realizados siguiendo este método en otros ejemplos de morteros históricos (Álvarez, *et al.* 1999; Flores Alés *et al.* 1997).

En primer lugar, al igual que en el caso anterior, se ha realizado una disgregación manual de la muestra y se ha registrado su peso inicial. Tras ello, se ha realizado el ataque de ácido con una disolución de ácido clorhídrico 3M en proporción 1:5. Esta disolución se ha tenido en un baño de arena durante 30 minutos, agitando suavemente con una varilla de vidrio la disolución; en los casos en los que pasados los 30 minutos se continuaba apreciando efervescencia, el vaso de precipitado se ha mantenido en las mismas condiciones hasta que ésta ha finalizado. Una vez concluido el ataque con ácido, y antes de proceder al filtrado de las disoluciones, se han pesado los distintos papeles de filtro; los empleados en este ensayo han sido papeles de filtro para análisis cuantitativo FILTER-LAB de 150 mm de diámetro, de filtración medio-lenta con gramaje de 80 g/m², espesor de 0,170, cenizas <0,01 y de 7-9 µm de poro. Tras filtrar las distintas disoluciones y lavar los papeles de filtro con agua destilada hasta que el pH del agua de lavado fuese neutro, se han metido en una estufa a una temperatura de 105 °C durante 5 horas para su completo secado. Finalmente, se ha pesado cada papel de filtro con los sedimentos resultantes. Como resultado se ha obtenido una gráfica en la que se representa la relación entre aglomerante y árido de cada muestra.

Para constatar la veracidad del ensayo y tener un punto de referencia con las proporciones normalmente empleadas en los morteros tradicionales, se han analizado tres muestras correspondientes a tres probetas de referencia realizadas a tal efecto, elaboradas con árido de sílice y cal en pasta siguiendo las proporciones tradicionalmente empleadas de cal y árido (1:1, 1:2 y 1:3).

Resultados

Como ya se ha indicado, la metodología descrita se ha aplicado al estudio de cinco revestimientos murales de distinta época; para ello se han analizado un total de 102 muestras.

Resultados del análisis visual

La realización de un pormenorizado análisis visual ha permitido identificar los distintos estratos que presentan cada uno de los revestimientos, lo que ha sido fundamental para la posterior toma de muestra. En este sentido, en los revestimientos de época romana (CR y PIT) se reconocen cuatro^[2] y tres estratos de mortero respectivamente, cuyo espesor disminuye en los estratos más superficiales: el estrato más interno presenta un grosor que alcanza los 4 cm; el siguiente estrato, un espesor de 1,4 cm aproximadamente; finalmente, el último estrato o enlucido, oscila entre 1,5 y 2 mm. Por el contrario, el resto de los revestimientos estudiados (TA, MIR y HRS) solo presentan un único estrato, cuyo espesor está en torno a 1,5 cm en el caso de los revestimientos tardoantiguos y a 3 cm en el caso de los emirales y califales [figura 1].

Igualmente, gracias al análisis visual ha sido posible hacer la identificación de paja en algunos de los estratos. En el caso de la adición de paja, se ha registrado en los estratos más internos de las pinturas romanas de *Castulo* (CR) y en el mortero de época califal (HRS). Ésta se ha documentado por la impronta que ha dejado en el mortero, ya que al ser un material orgánico su degradación es mayor; por esta razón, no se han tenido en cuenta en el resto de los análisis realizados.

Asimismo, se ha reconocido una diferencia en el acabado de la superficie de la capa pictórica, esto es, en el tratamiento del último mortero, del enlucido. En el caso de las pinturas murales de época romana y las de época califal éste se presenta espatulado, dando como resultado una capa pictórica mucho más pulida y lisa; por el contrario, en las de época tardoantigua y emiral la superficie no ha sido espatulada, por lo que el árido queda distribuido de una manera más homogénea percibiéndose, en ocasiones, en la capa pictórica. Al presionar y apretar el mortero con el espatulado de la superficie, los finos, el agua y el hidróxido cálcico que hay en el interior del estrato afloran a la superficie,



Figura 1.- Análisis visual realizado a los distintos morteros: a) época romana procedente de Castulo (CR); b) época tardoantigua procedente de Castulo (TA); c) época romana procedente de Parque Infantil de Tráfico (PIT); d) época emiral procedente de Miraflores (MIR); e) época califal procedente de Hospital Reina Sofía (HRS).

dejando una textura más lisa, menos porosa y mejor carbonatada; este aspecto se ha podido corroborar también en las imágenes analizadas mediante microscopía óptica, detectándose que el árido más grueso queda en la franja más interna del estrato y que las irregularidades de la capa pictórica se muestran, también, en la zona interna, en la unión entre ésta y el último estrato de mortero, dejando la superficie completamente lisa.

Resultados del análisis arqueométrico

Microscopía estereoscópica

En primer lugar, el análisis de las muestras mediante microscopía estereoscópica ha permitido apreciar con mayor detalle las diferencias entre los distintos morteros. En el caso de los revestimientos de época romana (CR y PIT), ha sido posible distinguir con claridad los dos últimos estratos de mortero, así como la tonalidad más rosada en uno de ellos debido, probablemente, a la adición de cerámica machacada; por el contrario, en el resto de los revestimientos se corrobora el empleo de un solo estrato de mortero, ya identificado en el análisis visual. En estos revestimientos (TA, MIR y HRS)

se observa una menor proporción de árido conforme avanza la cronología de los mismos. Finalmente, en el caso del revestimiento califal, el análisis mediante microscopía estereoscópica ha vuelto a evidenciar el empleo de paja, documentándose la impronta que ésta ha dejado [figura 2].

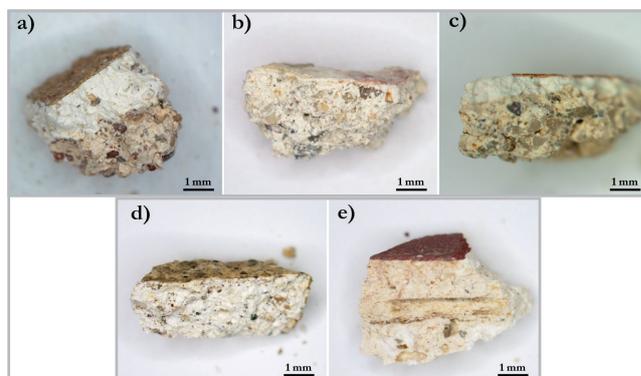


Figura 2.- Muestras analizadas mediante microscopía estereoscópica de los distintos revestimientos: a) revestimiento de época romana de Cástulo (CR); b) revestimiento de época romana de Córdoba (PIT); c) revestimiento de época tardoantigua de Cástulo (TA); d) revestimiento de época emiral de Córdoba (MIR); e) revestimiento de época califal de Córdoba (HRS).

Microscopía óptica polarizada con luz reflejada (MOP)

El estudio de las muestras mediante MOP ha facilitado el análisis de la morfología del árido del último estrato de mortero. En este sentido destacan las pinturas murales tardoantiguas, ya que presentan un árido de mayor tamaño que el presente en el último estrato del resto de los revestimientos y que, además, al no estar espatulado el mortero, sobresale en ocasiones en la capa pictórica. Del mismo modo, estos análisis han permitido corroborar el espatulado del mortero en el caso de las pinturas de época romana y califal [figura 3].

Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX)

A su vez, la microscopía electrónica de barrido con microanálisis por dispersión de energía por rayos X ha permitido la identificación elemental de alguno de los áridos presentes en las muestras preparadas mediante láminas delgadas, así como de la matriz del mortero. En

este sentido, se ha identificado Ca en todos los análisis realizados a la matriz del mortero, así como Si, Al, K, Ca y Na en los granos de áridos, en diferentes combinaciones [figura 4]. Estos análisis se han visto corroborados por los resultados obtenidos a través de difracción de rayos X y han permitido observar que, como anteriormente se indicaba, parte de la calcita identificada en la difracción de rayos X, y en el posterior análisis para establecer la relación entre aglomerante y árido, corresponde al empleo de un árido de naturaleza carbonática [figura 4d, f y g].

Difracción de rayos X (DRX)

Los análisis efectuados mediante difracción de rayos X han permitido caracterizar, en todos los casos, morteros que emplean la cal como aglomerante y un árido de diversa naturaleza compuesto por dolomita, feldespato potásico, plagioclasas, moscovita y cuarzo, a excepción de los morteros de época califal que sólo presentan calcita y cuarzo en su composición [figura 5].

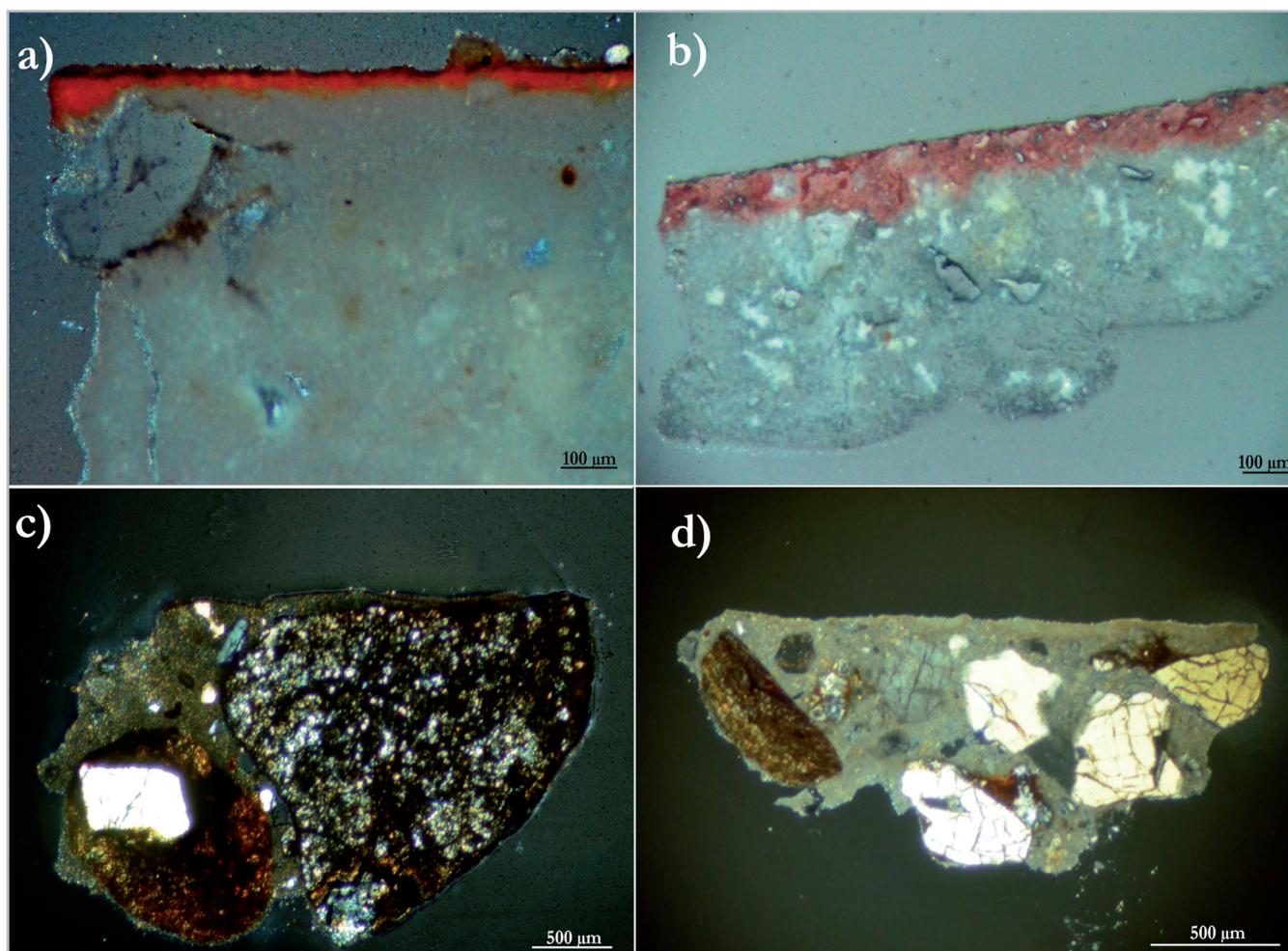


Figura 3.- Muestras analizadas mediante microscopía óptica: a) muestra del revestimiento romano de Cástulo (CR) en la que se aprecia la superficie espatulada; b) muestra procedente del revestimiento califal (HRS) donde se aprecia cómo la superficie está espatulada; c y d) muestras pertenecientes al revestimiento de época tardoantigua (TA) donde se distingue cómo el árido está distribuido de manera más homogénea y la superficie pictórica es más irregular, encontrándose alguno de mayor tamaño muy cerca de la capa pictórica.

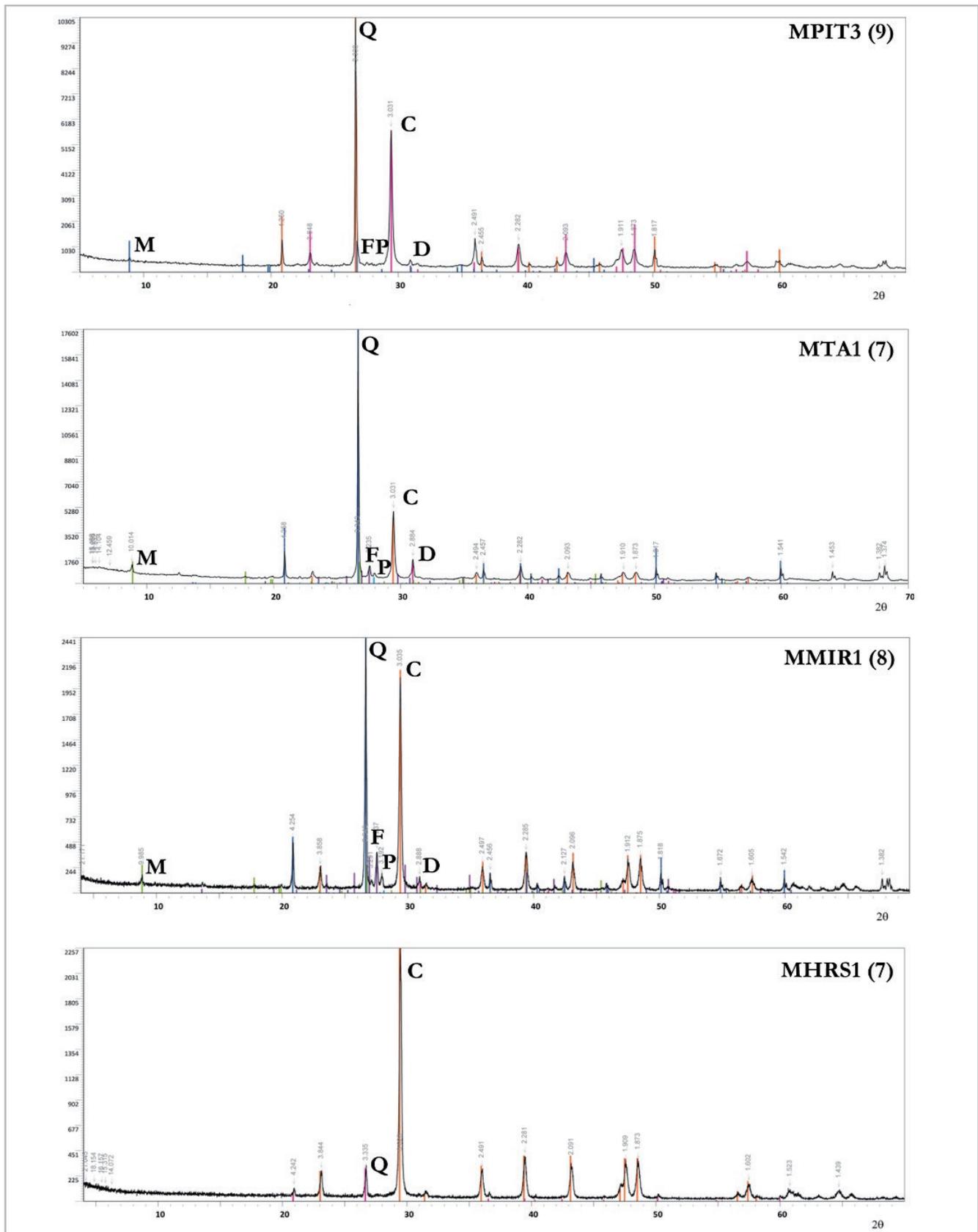


Figura 5.- Difractogramas de muestras tomadas del último estrato de cada uno de los revestimientos. Revestimiento de época romana de Cástulo (MR 4º Estrato): Calcita (C), cuarzo (Q), dolomita (D), feldespato potásico (F), plagioclasas (P) y moscovita (M) ; Revestimiento de época romana de Córdoba (MPIT 3ºEstrato): Calcita (C), cuarzo (Q), dolomita (D), feldespato potásico (F), plagioclasas (P) y moscovita (M); Revestimiento de época tardoantigua de Cástulo (MTA 1ºEstrato): Calcita (C), cuarzo (Q), dolomita (D), feldespato potásico (F), plagioclasas (P) y moscovita (M); Revestimiento de época emiral de Córdoba (MMIR 1º Estrato): Calcita (C), cuarzo (Q), dolomita (D), feldespato potásico (F), plagioclasas (P) y moscovita (M); Revestimiento de época califal de Córdoba (MHRS 1ºEstrato): Calcita (C) y cuarzo (Q).

Tabla 2.- Cuantificación aproximada de las distintas fases cristalinas identificadas en los morteros, media de los resultados obtenidos en el análisis de todas las muestras (++++: presente en un porcentaje mayor a 40%; ++: presente en un porcentaje entre 20% y 40%, +: presente en un porcentaje entre 10% y 20%, tr: presente en un porcentaje menor a 10%).

| Revestimiento | Estrato de mortero | Calcita | Cuarzo | Dolomita | Feldespato potásico | Plagioclasas | Moscovita |
|------------------------------------|--------------------|---------|--------|----------|---------------------|--------------|-----------|
| Cástulo de época romana (CR) | 2º Str | ++ | ++ | + | + | + | tr |
| | 3º Str | ++ | ++ | + | ++ | + | tr |
| | 4º Str | ++++ | + | tr | ++ | tr | tr |
| Córdoba de época romana (PIT) | 1º Str | ++++ | ++ | tr | tr | tr | + |
| | 2º Str | ++ | ++ | tr | + | tr | + |
| | 3º Str | ++++ | ++ | tr | | | tr |
| Cástulo de época tardoantigua (TA) | 1º Str | ++ | ++++ | tr | ++ | + | + |
| Córdoba de época emiral (MIR) | 1º Str | ++++ | + | tr | tr | tr | + |
| Córdoba de época califal (HRS) | 1º Str | ++++ | tr | | | | |

Se ha realizado, además, una cuantificación aproximada de las distintas fases cristalinas [tabla 2]. Aunque, como se ha mencionado, los porcentajes obtenidos son orientativos debido al carácter puntual de la toma de muestra para este tipo de análisis, en el caso de los revestimientos romanos se observa un aumento del porcentaje de calcita en el estrato de mortero más superficial (estando en torno al 47% en el caso de las pinturas de *Castulo* y al 58% en el de las procedentes del Parque Infantil de Tráfico de Córdoba). Dicho porcentaje disminuye en los revestimientos tardoantiguos, cuantificándose en torno a un 20% de calcita, y aumenta en los revestimientos hispanomusulmanes, llegando hasta un 94% en el caso de los morteros califales. Asimismo, en la mayor parte de los casos el cuarzo se presenta como el árido mayoritario, oscilando entre el 33% y el 15% (correspondientes al enlucido de las pinturas de época romana de Córdoba y al mortero emiral, respectivamente), salvo en las pinturas califales, donde el cuarzo identificado está en torno al 6%, lo que indica que en ellas el árido, además de cuarzo, está compuesto mayoritariamente por calcita (aspecto que se ha comprobado también en los análisis de SEM-EDX anteriormente descritos).

Resultados del estudio de la proporción y distribución del árido

Para el estudio de distribución granulométrica se ha realizado, por cada muestra, una curva de distribución granulométrica y una gráfica de barras con el porcentaje de peso retenido por cada tamiz [figura 6]. Todo ello ha evidenciado, en primer lugar, que los revestimientos de época romana (CR y PIT), tal y como se indica en los

tratados clásicos (Plinio, XXXV; Vitruvio, II) presentan una disminución de la granulometría del árido conforme el estrato de mortero al que pertenecen se hace más superficial; en segundo lugar, las muestras pertenecientes al estrato más interno de las pinturas romanas del Conjunto Arqueológico de Cástulo (CR) son las únicas que presentan árido de diámetro superior a 2,5 mm; finalmente, que el árido procedente de los revestimientos de época emiral y califal (MIR y HRS) es, por lo general, de un tamaño menor a la media del empleado en los revestimientos de época romana, y que está distribuido de manera más homogénea, encontrándose la misma proporción de árido retenido en cada uno de los tamices empleados.

Por otro lado, el análisis de la relación aglomerante/árido mediante el método gravimétrico de precipitación química tras el ataque de la muestra con ácido, ha permitido corroborar los resultados obtenidos hasta ahora en el resto de los análisis. En primer lugar, ha evidenciado que las muestras procedentes de los revestimientos emirales y califales presentan un porcentaje de calcita mucho mayor al resto de las muestras analizadas [figura 7]. En segundo lugar, que las muestras de época romana reflejan una mayor proporción de calcita conforme el estrato de mortero se acerca más a la superficie, tal y como recomiendan los textos clásicos, a excepción de las muestras pertenecientes al estrato más interno de mortero (MCR2AA y MPIT1AA). Al finalizar los 30 minutos iniciales del baño de arena, las muestras correspondientes a dichos estratos continuaban con efervescencia, lo que, unido a los resultados obtenidos mediante SEM-EDX, confirman el empleo de un árido de naturaleza carbonática en estos estratos (por lo que tampoco se puede descartar que parte de la calcita identificada en el resto de las muestras

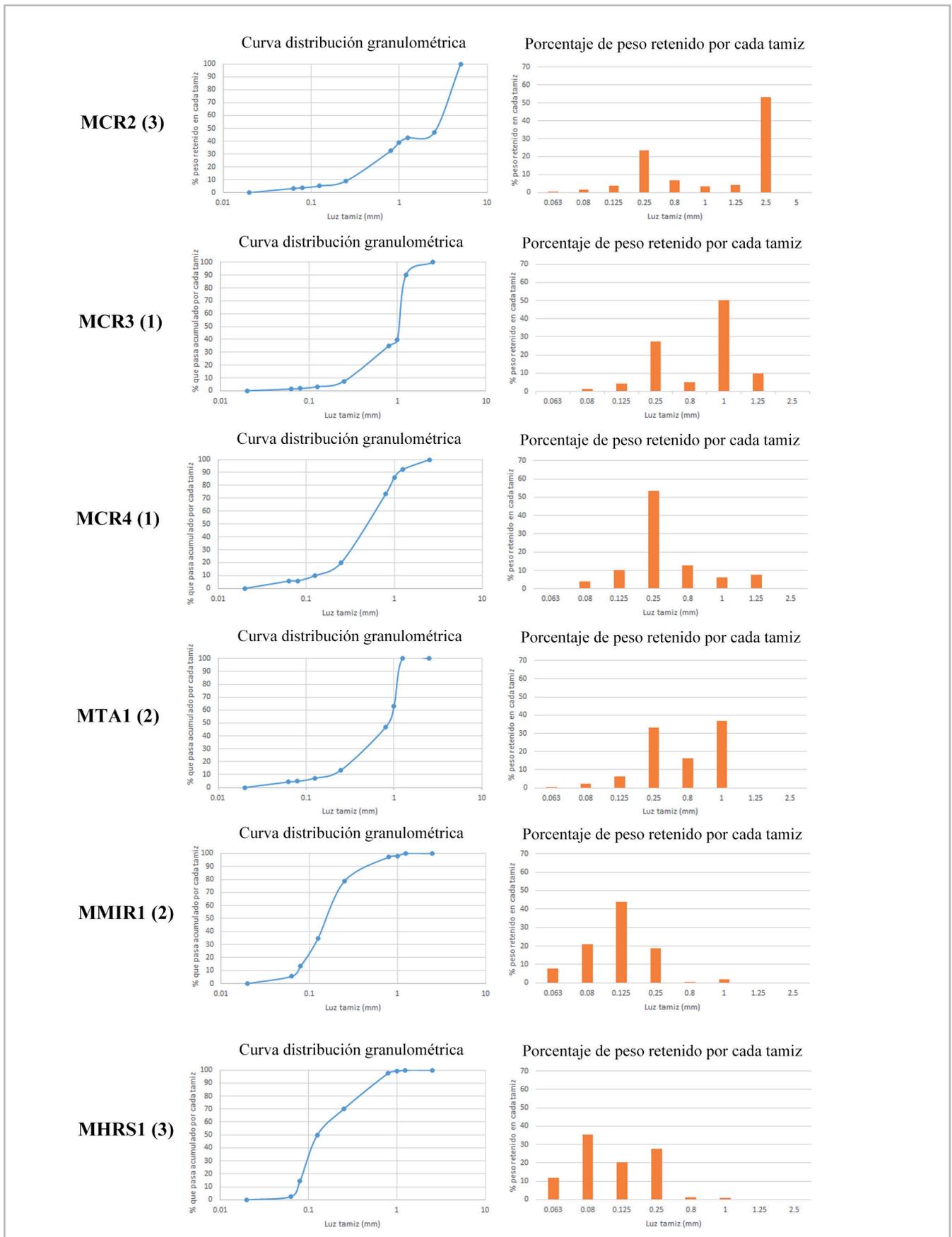


Figura 6.- Curva de distribución granulométrica y gráfica del porcentaje de peso retenido por cada tamiz. MR2, MR3 y MR4: muestras procedentes de época romana de Cástulo del segundo, tercer y cuarto estrato. MTA: muestra procedente del revestimiento de época tardoantigua de Cástulo. Muestra MMIR: muestra procedente del revestimiento de época emiral. MHRS: muestra procedente del revestimiento de época califal.

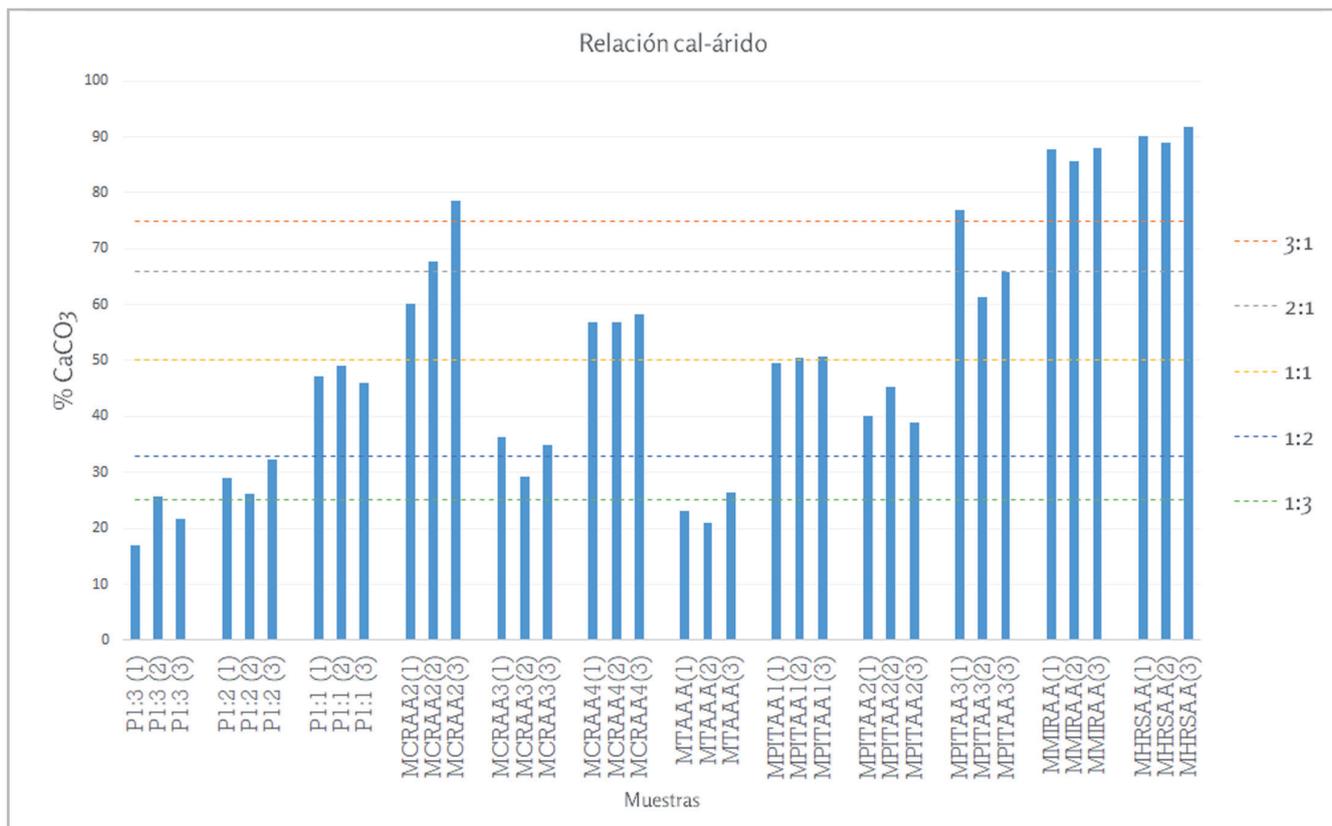


Figura 7.-Proporción de calcita de las distintas muestras analizadas mediante el método gravimétrico de precipitación química tras el ataque con ácido.

corresponda a parte del árido empleado). Finalmente, si se comparan las muestras procedentes de los revestimientos originales con las muestras procedentes de los morteros preparados como patrón (con una relación conocida entre aglomerante y árido) se puede apreciar que, en general, las muestras arqueológicas estudiadas presentan un mayor porcentaje de calcita que el habitualmente recomendado en la bibliografía clásica (Plinio, XXXV; Vitruvio, II); ello puede explicarse, al igual que en el caso del estrato más interno de mortero romano, en el uso de árido preparado a partir de rocas calizas, muy abundantes en el entorno geográfico de los yacimientos.

Conclusiones

Con este trabajo se ha pretendido mostrar la importancia que recae en el análisis de los morteros arqueológicos, sobretudo en el caso concreto del estudio de la pintura mural. Se ha evidenciado, de este modo, la necesidad de abordar dicho análisis de tres maneras distintas: por un lado, un primer análisis visual; por otro, la identificación de los materiales que constituyen el mortero; y, por último, la distribución de dichos materiales y la relación existente entre ellos. Asimismo, ha sido posible constatar el carácter complementario de estos análisis, ya que los datos que se obtienen mediante cada técnica son parciales y, por tanto, su combinación permite obtener resultados más completos y fiables.

En primer lugar, se ha comprobado que las pinturas murales de época romana aquí estudiadas siguen las directrices indicadas por tratadistas clásicos como Plinio y Vitruvio; en este sentido, se ha identificado un soporte compuesto por distintos estratos de mortero, cuyo espesor y la granulometría de su árido disminuyen conforme se acercan a la superficie. Estos estratos están compuestos por calcita y árido de diversa naturaleza (feldespato potásico, plagioclasas, cuarzo, dolomita y moscovita), además de paja como aditivo (en el caso de las pinturas castulonenes); se ha identificado, asimismo, que la calcita está presente como aglomerante y como árido. Gracias al análisis visual y al análisis mediante microscopía óptica realizado se ha comprobado, además, que el último estrato de mortero, el enlucido, ha sido espatulado. Los materiales y la técnica de ejecución caracterizados en estos revestimientos repiten, por lo tanto, los resultados obtenidos en el estudio de otros revestimientos murales de la misma época (López Martínez *et al.* 2016; Mateos *et al.* 2018; Calabria Salvador, Zalbidea Muñoz 2019; Ergenç y Fort 2019; Cerrato *et al.* 2020).

En el caso de las pinturas murales de época tardoantigua, si bien los materiales constitutivos son los mismos que los empleados en época romana, el proceso de ejecución varía ya que, en este caso, el mortero se extiende en un solo estrato, dando como resultado un soporte de menor espesor que el de época romana; además, la superficie no fue espatulada y, como consecuencia, el árido se distribuye

de una manera más homogénea pudiendo observarse, incluso, en la capa pictórica.

El mortero analizado de época emiral se asemeja en ciertos aspectos al de época tardoantigua, tanto en su composición como en el número de estratos; asimismo, ninguno de los dos ha sido espatulado ni presenta paja como aditivo. Sin embargo, el espesor que presenta dicho estrato es mayor que el de época tardoantigua; además, se ha identificado una menor proporción de árido en el mortero y de una granulometría también inferior.

Finalmente, el mortero de época califal es el que presenta más diferencias con el resto de los morteros estudiados en este trabajo. Sin embargo, hay que resaltar que coinciden con los resultados y apariencia de otros morteros califales que han sido analizados en diferentes publicaciones (García Bueno 2000; García Bueno y Medina Flórez 2002). En este sentido, si bien está compuesto por un único estrato y de un grosor similar al de época emiral, su composición se reduce a calcita (que actúa como aglomerante y como árido) y cuarzo. En este caso, al igual que sucede con las pinturas de época romana, presenta paja como aditivo y su superficie vuelve a estar espatulada.

Por todo ello se puede decir que, en general, los morteros de época imperial romana y tardoantiguos presentan un árido predominantemente silíceo, mientras que los califales presentan una composición del árido a base de carbonatos; por esta razón, los morteros medievales estudiados presentan un aspecto más blanco y con una granulometría menos definida. En cuanto al número de estratos, existe una considerable diferencia entre los de época imperial y los posteriores, presentando los primeros, en todos los ejemplos estudiados, al menos tres, mientras que en los posteriores sólo se ha observado uno.

Por otra parte, se puede comprobar que los morteros de época imperial están espatulados, los tardoantiguos y emirales no lo están, volviendo a identificarse este procedimiento en época califal; ello podría ser indicativo de que tras la época romana este proceso deja de emplearse, probablemente por la pérdida de conocimientos técnicos que se produce en la etapa final del Imperio en la península ibérica. Sin embargo, en periodo califal se vuelve a observar este procedimiento, su incorporación al proceso pictórico podría explicarse por influencia oriental, debida a la llegada de artesanos árabes a la península ibérica (Fernández Puertas 1985; Arié 1994; Morales Martínez 1995). Asimismo, hay que decir que la presencia de paja no parece ser representativa de un periodo concreto, ya que se ha encontrado este material en uno de los dos ejemplos de pintura mural romana y también en pinturas califales.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a D. Marcelo Castro, director del Conjunto Arqueológico

de Cástulo, y a D. Juan F. Murillo, director de la Oficina de Arqueología de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba. Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación, en el marco del Proyecto de Investigación de referencia PID2019-105706GB-I00 "Estudios de materiales y técnica de ejecución, ensayos de tratamientos de conservación-restauración y aplicaciones 3D de elementos decorativos del Patrimonio Cultural".

Notas

[1] La metodología que aquí se propone forma parte de un estudio más amplio y completo sobre las pinturas murales procedentes de los distintos yacimientos que se señalan, en el que se han analizado además de los morteros, los pigmentos y la técnica de ejecución de los revestimientos.

[2] Si bien se han reconocido hasta cuatro estratos de mortero en los revestimientos de época romana de Castulo sólo ha sido posible coger muestra de los tres estratos más superficiales.

Referencias

- ABAD CASAL, L. (2008). Prólogo. En *La pintura mural romana de Carthago Noua. Evolución del programa pictórico a través de los estilos, talleres y obras técnicas decorativas*, Fernández Díaz, A. Murcia: Monografías MAM 2: 19-24.
- ÁLVAREZ, J., MARTÍN, A., GARCÍA CASADO, P., NAVARRO, I. y ZORNOZA, A. (1999). Methodology and validation of a hoy hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars. *Cement and Concrete Research*, 29: 1061-1065.
- ARIÉ, R. (1994). España musulmana (siglos VIII-XV). En *Vol. III de la Historia de España*, Tuñón de Lara, Ed. Labor, 424-444.
- CALABRIA SALVADOR, I., ZALBIDEA MUÑOZ, M.A. (2019). Study of wall paintings from the "Mosaico de los Amores" room of the ibero-roman city of Catulo. *Ge-conservación*, 16: 45-61. <https://doi.org/10.37558/gec.v16i0.663>
- CERRATO, E.J., COSANO, D., ESQUIVEL, D., OTERO, R., JIMÉNEZ-SANCHIDRIÁN, C. y RUIZ, J.R. (2020). A multi-analytical study of a wall painting in the Satyr domus in Córdoba, Spain. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 232: 118141 <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118148>
- COUPRY, C. (2001). Les matériaux: supports, enduits, pigments, liants. En *La matière picturale: fresque et peinture murale*, Colinart, S. y Menu, M. (eds.). Ravello: Edipuglia, 21-26.
- ERGENÇ, D. y FORT, R. (2019). Multi-technical characterization of Roman mortars from Complutum, Spain. *Measurement*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106876>
- ERGENÇ, D., LA RUSSA, M.F., RUFFOLO, S.A., FORT, R. y SÁNCHEZ, A.L. (2018). Characterization of the wall paintings in La Casa de los

Grifos of Roman city Complutum. *The European Physical Journal Plus*, 133: 1-13. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12223-7>

FERNÁNDEZ PUERTAS, A. (1985). Prólogo. En *Madinat al-Zahra, arquitectura y decoración*, Hernández Giménez, F., Pp. XVI. Patronato de la Alhambra y Generalife.

FLORES ALÉS, V., GUIRAÚM PÉREZ, A. y BARRIOS SEVILLA, J. (1997). Estudio de una selección de morteros de época romana de la provincia de Sevilla. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio*, 21: 92-97. <https://doi.org/10.33349/1997.21.571>

GARCÍA BUENO, A. (2000). *La pintura mural hispanomusulmana, estudio de los revestimientos murales pintados del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

GARCÍA BUENO, A. y MEDINA FLÓREZ V.J. (2002). Algunos datos sobre el origen de la técnica de la pintura mural hispanomusulmana. *Al-Qantara*, 23: 213-222. <https://doi.org/10.3989/alqantara.2002.v23.i1.207>

GUTMAN, M., LESARK KIKLEJ, M., ZUPANEK, B. y KRAMAR, S. (2016). Wall paintings from the romane mona (Ljubljana, Slovenia): Characterization of mortar layers and pigments. *Archaeometry*, 58(2): 297-314. <https://doi.org/10.1111/arcm.12167>

LÓPEZ MARTÍNEZ, T., LÓPEZ CRUZ, O., GARCÍA BUENO, A., CALERO CASTILLO, A.I., MEDINA FLÓREZ, V.J. (2016). Wall paintings in Catulo. First contributions to the characterization of materials and techniques. *LVCENTVM*, 35: 155-170.

OLMOS BENLLOCH, P. (2006). La preparación de la pintura mural en el mundo romano. *Ex novo: revista d'història i humanitats*, 3: 23-40. <https://raco.cat/index.php/ExNovo/article/view/144713>

MATEOS, L.D., ESQUIVEL, D., COSANO, D., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, C. y RUIZ, J.R. (2018). Micro-Raman analysis of mortars and wallpaintings in the Roman villa of Fuente Alamo (Puente Genil, Spain) and identification of the application technique. *Sensors and Actuators A: Physical*, 281: 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.08.038>

MORALES MARTÍNEZ, A. (1995). A la sombra de Damasco. Arquitectura en al-Andalus hasta la proclamación del califato de Córdoba. *La arquitectura del Islam Occidental*, Barcelona.

PLINIO. *Historia natural de Cayo Plinio Segundo*. XXXV. De la pintura, colores y pintores. Traducida y anotada por F. Hernández y J. de Huerta. Visor. 1998. Madrid.

VITRUVIO POLIÓN, M. *Los diez libros de Arquitectura*. VII. Cicon ediciones. 1999. Cáceres.

WEBER, J., PROCHASKA, W. y ZIMMERMANN, N. (2009). Microscopic techniques to study Roman renders and mural paintings from various sites. *Materials characterization*, 60, 586-593. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.12.008>

Autor/es



Teresa López Martínez

tlopez@ugr.es

Facultad de Bellas Artes Alonso Cano.
Universidad de Granada

Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en el año 2014; ha realizado el Máster Interuniversitario en Arqueología en el año 2015 y obtenido un doctorado en Historia y Artes, con la línea de Restauración y Conservación de Bienes Patrimoniales y mención internacional, en el año 2019, todo ello por la Universidad de Granada. Durante su etapa pre-doctoral realizó una estancia en el Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali (actual Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale) perteneciente al Consiglio Nazionale delle Ricerche y con sede en Florencia (Italia), en la cual evaluó distintos consolidantes sobre pintura mural de procedencia arqueológica, y otra estancia en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (Madrid) en la que trabajó en la aplicación de la fotogrametría y la virtualización 3D en el campo de la conservación y restauración. Dichas líneas de investigación se complementan con otras dos orientadas tanto a la caracterización de materiales y técnica de ejecución de revestimientos murales como a la evaluación de tratamientos de limpieza sobre el mismo tipo de obra. Actualmente imparte docencia en el Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Granada y forma parte de diversas actividades de difusión y divulgación como la Noche Europea de los Investigadores y el proyecto PIISA. Ha participado en distintos congresos nacionales e internacionales y es coautora de varias publicaciones indexadas en revistas científicas. Asimismo, es miembro del Comité Nacional Español de ICOMOS, colaborando en los grupos de trabajo de Profesionales Emergentes y del Observatorio.

<https://orcid.org/0000-0002-3882-1053>



Mª del Rosario Blanc García

mrb Blanc@ugr.es

Departamento de Química Analítica.
Facultad de Ciencias. Universidad de Granada

Profesora Titular del Departamento de Química Analítica de la Universidad de Granada desde 2003. Se licenció en Ciencias Químicas en esta misma universidad y defendió su Tesis Doctoral en 1996. Durante su etapa postdoctoral realizó una estancia en Dublin City University (Dublin, Irlanda). Imparte docencia en el Grado de Química y en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Es miembro del grupo FQM 338 "Química Analítica y ciencias de la vida" y su labor investigadora está centrada desde 2003 en el desarrollo de nuevas metodologías analíticas para el estudio y determinación de materiales utilizados en la manufactura y restauración de Bienes Culturales, así como en el estudio de los procesos de degradación de dichos Bienes Culturales. Para ello ha empleado

técnicas analíticas de separación como electroforesis capilar, HPLC y UHPLC con diversas detecciones (UV-Vis, fluorescencia y masas), además de técnicas de análisis no invasivas como fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, etc... También ha seguido trabajando en temas puntuales de investigación en las líneas desarrolladas por su grupo de investigación. Ha formado parte del equipo de diversos proyectos de investigación y es colP de dos proyectos de investigación relacionados con la Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Coautora de numerosas publicaciones indexadas en revistas científicas tanto nacionales como internacionales, capítulos de libro y contribuciones a congresos tanto nacionales como internacionales. Ha dirigido numerosos trabajos de investigación (Diplomas de Estudios Avanzados, Tesis doctorales, etc...) y proyectos de innovación docente relacionados con la docencia de Química en el grado de Conservación y Restauración. Ha participado en jornadas científicas relacionadas con el estudio de materiales y la conservación y restauración del Patrimonio Cultural.

Es miembro de diferentes redes científicas relacionadas con la conservación y restauración de los Bienes Culturales.
<https://orcid.org/0000-0002-7820-9133>

Bienes Culturales Muebles (del que fue coordinadora desde su gestación en 2009 hasta el año 2012) y del grado en Historia del Arte. Secretaria del Departamento de Pintura, desde 2011 hasta 2014, y desde esa fecha hasta enero de 2020 directora del mismo. Miembro del Consejo Asesor de Enseñanzas de Posgrado (Escuela Internacional de Posgrado de la Universidad de Granada) en el que es presidente de la Comisión de Arte y Humanidades.
<https://orcid.org/0000-0001-6201-4510>

Artículo enviado el 07/09/2020
Artículo aceptado el 28/12/2020



<https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.814>



Ana García Bueno
anagar@ugr.es
Facultad de Bellas Artes Alonso Cano.
Universidad de Granada

Desde su doctorado la profesora García Bueno ha seguido una línea de investigación relacionada con el estudio de materiales constitutivos, técnicas de ejecución y conservación y restauración de pintura mural. En su tesis doctoral estudió la pintura mural hispanomusulmana y concretamente los revestimientos murales pintados del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada (qubba del primer periodo de arte nazarí, antecedente de la Alhambra), los zócalos califales de arrabales de Poniente (Córdoba), los almorávides de Orive (Córdoba) así como los de la Alhambra de Granada. Además, se pueden citar otros estudios como el de las pinturas murales de Qusayr Amra, Jordania (Patrimonio de la Humanidad, siglo VIII); el de las yeserías del Oratorio de la Madraza de Yusuf I (1349); o los del Real Alcázar de Sevilla (también patrimonio de la humanidad) concretamente de la fachada del palacio de Pedro I y del Patio de las Doncellas. Tanto en la Fachada como en el Patio se estudiaron los materiales y técnica de ejecución de la policromía original y de las intervenciones posteriores de aleros, alfarje, yeserías y piedra. Ha participado en contratos de investigación, Proyectos I+D, de convocatorias públicas; dirigido tesis doctorales y realizado numerosas publicaciones en revistas científicas. Actualmente continúa trabajando en el estudio de materiales y técnica de ejecución de pintura mural y elementos decorativos arquitectónicos. Por otra parte, dada la problemática de conservación de la pintura mural arqueológica, mantiene una línea de investigación sobre materiales, procesos y métodos de control de tratamientos en este tipo de obras. Es profesora del Grado en Conservación y Restauración de