

---

# ANALES

---

de Arqueología Cordobesa

*2018*

---

**29**

---

UCOPress



---

Editorial Universidad de Córdoba

---

ANÁLES  
DE ARQUEOLOGÍA  
CORDOBESA  
NÚMERO 29 (2018)

---

UCOPress  
  
Editorial Universidad de Córdoba

# ANALES

DE ARQUEOLOGÍA  
CORDOBESA  
NÚMERO 29 (2018)

Revista de periodicidad anual, publicada por el Grupo de Investigación *Sísifo* (HUM-236, Plan Andaluz de Investigación), de la Universidad de Córdoba, en colaboración con la Excma. Diputación Provincial de esta misma ciudad y UCOPress, editorial de la Universidad de Córdoba.

© Los autores

© G. I. *Sísifo*

*Anales de Arqueología Cordobesa* elude cualquier tipo de responsabilidad sobre las opiniones de los autores que publican en la revista.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)), si necesita fotocopiar o escanear alguna página o fragmento.

## DIRECTOR:

Desiderio VAQUERIZO GIL

## SECRETARIA:

Ana B. RUIZ OSUNA

## CONSEJO DE REDACCIÓN

Agustín AZKARATE GARAI-OLAUN	<i>Universidad del País Vasco</i>
Felipe CRIADO BOADO	<i>Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Santiago de Compostela</i>
Patrice CRESSIER	<i>CIHAM-UMR 5648, CNRS, Lyon (France)</i>
Carlos FABIÃO	<i>UNIARQ / Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (Portugal)</i>
José Antonio GARRIGUET MATA	<i>Universidad de Córdoba</i>
Alberto LEÓN MUÑOZ	<i>Universidad de Córdoba</i>
Juan Fco. MURILLO REDONDO	<i>Oficina Municipal de Arqueología, Ayuntamiento de Córdoba</i>
Trinidad NOGALES BASARRATE	<i>Museo Nacional de Arte Romano, Mérida</i>
John PIERCE	<i>Union College (United Kingdom)</i>
Gonzalo RUIZ ZAPATERO	<i>Universidad Complutense de Madrid</i>
Thomas SHATTNER	<i>Instituto Arqueológico Alemán de Madrid / Universität zum Giessen (Deutschland)</i>
Giuliano VOLPE	<i>Università degli Studi di Foggia (Italia)</i>

## CONSEJO DE EVALUACIÓN Y ASESOR

Juan Manuel ABASCAL PALAZÓN	<i>Universidad de Alicante</i>
Martín ALMAGRO GORBEA	<i>Real Academia de la Historia</i>
Enrique ARIÑO GIL	<i>Universidad de Salamanca</i>
Joao Pedro BERNARDES	<i>Universidade do Algarve</i>
Darío BERNAL CASASOLA	<i>Universidad de Cádiz</i>
Ana BOUZAS	<i>Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico</i>
André CARNEIRO	<i>Universidade de Evora</i>
Juan CASTILLO ARMENTEROS	<i>Universidad de Jaén</i>
Sebastián CELESTINO PÉREZ	<i>Consejo Superior de Investigaciones Científicas</i>
María FERNÁNDEZ GARCÍA	<i>Universidad de Granada</i>
Francesca GHEDINI	<i>Università degli Studi di Padova</i>
Helena GIMENO	<i>Universidad de Alcalá de Henares</i>
M <sup>a</sup> del Mar GONZÁLEZ GONZÁLEZ	<i>Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico</i>
Amílcar GUERRA	<i>Universidade do Lisboa</i>
Pedro GURRIARÁN DAZA	<i>YAMUR S.L.</i>
José Avelino GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	<i>Universidad de Oviedo</i>
Luz NEIRA JIMÉNEZ	<i>Universidad Carlos III de Madrid</i>
Alberto LEÓN MUÑOZ	<i>Universidad de Córdoba</i>
Virgílio LOPES MARTINS	<i>Campo Arqueológico de Mértola</i>
Ángel MORILLO	<i>Universidad Complutense</i>
José Miguel NOGUERA CELDRÁN	<i>Universidad de Murcia</i>
M <sup>a</sup> Pilar SAN NICOLÁS	<i>UNED</i>
Luis Javier SÁNCHEZ HERNANDO	<i>Universidad de Huelva</i>
Luca SCALCO	<i>Università degli Studi di Padova</i>
Alessandro TEATINI	<i>Università degli Studi di Sassari</i>
Miguel Ángel VALERO TÉVAR	<i>Universidad de Castilla-La Mancha</i>
Giuliano VOLPE	<i>Università degli Studi di Foggia</i>

## CORRESPONDENCIA E INTERCAMBIOS

ÁREA DE ARQUEOLOGÍA  
Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Córdoba  
Plaza del Cardenal Salazar, 3. 14003 CÓRDOBA  
Tel.: 957 218 558  
E-mail: [anarcor@uco.es](mailto:anarcor@uco.es)  
<https://www.uco.es/ucopress/ojs/index.php/anarcor/index>

D. L. CO: 665/1991  
I.S.S.N.: 1130-9741

## MAQUETACIÓN

Rafael RUIZ - [rafarfer@hotmail.com](mailto:rafarfer@hotmail.com)

## IMPRESIÓN

Imprenta Provincial. Diputación de Córdoba

# ÍNDICE

## ARTÍCULOS

- PÁGS. 11 - 40 PANIEGO DÍAZ, Pablo  
Jefaturas o Estados. Sociedades de transición en la cuenca media del Guadiana  
**Chiefdoms or States. Transitional societies in Guadiana river middle basin**
- PÁGS. 41 - 84 CAVALIERI MANASSE, Giuliana  
Verona: la città oltre le mura  
**Verona: the city beyond the walls**
- PÁGS. 85 - 110 VIDAL ENCINAS, Julio Manuel; COSTA GARCÍA, José Manuel; GONZÁLEZ ÁLVAREZ, David; MENÉNDEZ-BLANCO, Andrés  
La presencia del ejército romano en las montañas de El Bierzo (León): novedades arqueológicas  
**The presence of the Roman army in the mountains of El Bierzo (León): new archaeological**
- PÁGS. 111 - 136 ORTIZ CÓRDOBA, José  
Dinámicas migratorias y movimientos de población en *Lusitania*: el caso de *Olisipo Felicitas Iulia*  
**Migratory dynamics and population movements in *Lusitania*: the case of *Olisipo Felicitas Iulia***
- PÁGS. 137 - 156 BELTRÁN DE HEREDIA, Julia; CORTÉS VICENTE, Ada  
La *domus* de la calle Avinyó de Barcelona: un ejemplo de la arquitectura doméstica de las elites barcinonenses en los siglos I-II  
**The *domus* of Avinyó street in Barcelona: a domestic architecture example of the elites from *Barcino* during the 1st-2nd centuries**
- PÁGS. 157 - 176 NEIRA, Luz  
Océano en los mosaicos romanos. A propósito de un pavimento de *Colonia Patricia*  
**Ocean in Roman mosaics. About a pavement from *Colonia Patricia***

- PÁGS. 177 - 198 VALERO TÉVAR, Miguel Ángel  
Análisis palinológico de la villa de Noheda (Cuenca). Evolución del paisaje vegetal e interacción antrópica en la Submeseta Sur desde época romana  
**Palynological analysis of the villa of Noheda (Cuenca): evolution of the vegetation landscape and anthropic interaction on the southern sub-plateau of Spain since roman times**
- PÁGS. 199 - 226 ROLO, Mónica  
Um retrato do mundo funerário romano no nordeste alentejano (Portugal) à luz do contributo de Abel Viana e António Dias de Deus  
**The roman funerary evidences in the north-east of Alentejo (Portugal). A portrait based on the contribution of Abel Viana's and António Dias de Deus's works**
- PÁGS. 227 - 244 FADDA, Salvatore  
Una nota su due urne e un'ara cineraria romane recentemente apparse sul mercato antiquario londinese  
**A note about two Roman cinerary urns and an altar recently auctioned in London**
- PÁGS. 245 - 262 ROLO, Mónica  
A propósito de uma taça romana da colecção de arqueologia da Fundação da Casa de Bragança  
**About a roman cup from the archaeological collection of Fundação da Casa de Bragança**
- PÁGS. 263 - 292 GARCÍA-DILS DE LA VEGA, Sergio; RUBIO VALVERDE, Manuel  
Tres nuevas *defixiones* romanas en su contexto arqueológico. La necrópolis de Llanos del Pretorio (Córdoba)  
**Three new roman defixiones in their archaeological context. The necropolis of Llanos del Pretorio (Córdoba)**
- PÁGS. 293 - 318 CAETANO LEITÃO, Marta Isabel  
O Povoamento Rural Islâmico no *al-Andalus*. Estado da investigação  
**The Islamic Rural Settlement in *al-Andalus*. State of research**
- PÁGS. 319 - 340 CALERO CASTILLO, Ana I.; MEDINA FLÓREZ, Víctor J.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, M. Teresa; GARCÍA BUENO, Ana  
Evaluación comparativa de productos consolidantes sobre fragmentos arqueológicos de cornisa romana y yeserías de tradición islámica  
**Comparative assessment of consolidation treatments on archaeological fragments of roman cornices and islamic plasterwork**

## RESEÑAS

- PÁGS. 343 - 348 VAQUERIZO GIL, D.  
*Cuando (no siempre) hablan las piedras. Hacia una arqueología integral en España como recurso de futuro. Reflexiones desde Andalucía*  
**Recensión: Juan Manuel Cano Sanchiz**
- PÁGS. 349 - 352 MARTÍN-CANCELA, E.  
*Tras las huellas del San Telmo. Contexto, historia y arqueología en la Antártida*  
**Recensión: Manuel D. Ruiz Bueno**
- PÁGS. 353 - 356 HERNANDO SOBRINO, M. R.  
*Alejandro Javier Panel (1699-1764) y la epigrafía hispana. Un jesuita francés en el "infierno abreviado"*  
**Recensión: Juan Manuel Abascal Palazón**
- PÁGS. 357 - 362 RIBICHINI, S.; SICRE DÍAZ, J. L.; MARCO SIMÓN, F.; DOMÍNGUEZ MONEDERO, A. J.; ORIA SEGURA, M.; MARTÍNEZ ROJAS, F. J.; MONTERO HERRERO, S. C.  
*Profecía y adivinación en las religiones de la antigüedad*  
**Recensión: Rafael A. Barroso Romero**
- PÁGS. 363 - 366 CABALLOS, A.; MELCHOR, E. (Eds.)  
*De Roma a las provincias: las élites como instrumento de proyección de Roma. Juan Francisco Rodríguez Neila in honorem*  
**Recensión: Diego Romero Vera**
- PÁGS. 367 - 372 RUIZ BUENO, MANUEL D.  
*Dinámicas topográficas urbanas en Hispania. El espacio intramuros entre los siglos II y VII d.C.*  
**Recensión: Rafael A. Barroso Romero**

## NORMAS DE REDACCIÓN Y PRESENTACIÓN DE ORIGINALES

- PÁGS. 373 - 378 Normas de redacción y presentación de originales
- PÁG. 379 Boletín de suscripción y pedido

ANÁLES  
DE ARQUEOLOGÍA  
CORDOBESA  
NÚMERO 29 (2018)

ARTÍCULOS

# EVALUACIÓN COMPARATIVA DE PRODUCTOS CONSOLIDANTES SOBRE FRAGMENTOS ARQUEOLÓGICOS DE CORNISA ROMANA Y YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CONSOLIDATION TREATMENTS ON ARCHAEOLOGICAL FRAGMENTS OF ROMAN CORNICES AND ISLAMIC PLASTERWORK.

ANA ISABEL CALERO CASTILLO  
DPTO. DE PINTURA. UNIV. DE GRANADA  
✉: anacalero castillo@hotmail.com

M.ª TERESA GONZÁLEZ-MUÑOZ  
DPTO. MICROBIOLOGÍA. UNIV. GRANADA  
✉: mgonzalez@ugr.es

VÍCTOR J. MEDINA FLÓREZ  
DPTO. DE PINTURA. UNIV. DE GRANADA  
✉: vmedina@ugr.es

ANA GARCÍA BUENO  
DPTO. DE PINTURA. UNIV. DE GRANADA  
✉: anagar@ugr.es

ANALES  
DE ARQUEOLOGÍA  
CORDOBESA  
NÚMERO 29 (2018)

## RESUMEN:

Los revestimientos arquitectónicos de origen arqueológico presentan una problemática de conservación y restauración bastante compleja, sobre todo en lo que a términos de consolidación se refiere. Con este trabajo se ofrecen distintos ensayos de consolidación (resina acrílica, silicato de etilo, butiral de polivinilo y carbonatogénesis bacteriana) que se han realizado en fragmentos de cornisas de cronología romana procedentes del Conjunto Arqueológico de *Castulo* en Linares (Jaén) y en yeserías medievales del Alcázar de Guadalajara. Los resultados obtenidos han permitido extraer conclusiones acerca de los aspectos positivos y negativos de los diversos tratamientos y de su viabilidad para la conservación de este tipo de decoraciones arquitectónicas.

**Palabras clave:** restauración, conservación, consolidación, *Castulo*, Alcázar de Guadalajara, romano, medieval.

## ABSTRACT:

Conservation and restoration of architectural coatings of archaeological origin is a complex issue, especially as far as consolidation terms are concerned. This work presents different consolidation treatments (acrylic resin, ethyl silicate, polyvinyl butyral and bacterial carbonatogenesis) carried out on fragments of Roman chronology cornices from the Archaeological Complex *Castulo*, located in Linares (Jaén), and on original plasterwork from the Alcázar of Guadalajara. The results of the study showed the strengths and weaknesses of each treatment, allowing us to conclude their viability for the conservation of this type of architectural decorations.

**Key words:** restoration, conservation, consolidation, *Castulo*, Alcázar de Guadalajara, roman, medieval.



---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

El mantenimiento del patrimonio arqueológico supone un motor esencial en la sociedad actual, no solo desde el punto de vista cultural, sino también como fuente de riqueza y de desarrollo. En este sentido, la problemática que presenta su conservación, especialmente en el caso de los revestimientos policromos, es muy compleja. Las condiciones a las que se ven sometidos en sus diferentes ubicaciones (humedad, cambios bruscos de temperatura, exposición a la radiación o ruptura del equilibrio ambiental, entre otros) suelen derivar en graves problemas de conservación provocando, en ocasiones, su pérdida definitiva.

Concretamente, los problemas de descohesión son especialmente graves en las decoraciones en relieve de época romana (cornisas) y medieval (yeserías), tanto por las características específicas de sus materiales constitutivos, como por sus procesos de ejecución. Además, la ruptura ambiental que provocan los procesos de excavación, conlleva que sea complicado conservar los restos de color de estas decoraciones si no se aplican los tratamientos adecuados, pues a la descohesión del material de soporte (yeso y cal), se une la inestabilidad de las policromías, realizadas en la mayor parte de los casos con un aglutinante de tipo orgánico (goma arábica, cola animal o huevo entre otros).

En el caso de las cornisas, aunque su composición sea mayoritariamente de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) como en los frescos, la probable adición de material orgánico en la formulación del mortero con el objetivo de aligerar el peso de estas decoraciones, situadas en la parte superior de los muros, así como la menor cantidad de árido en la

composición, ha dado lugar a morteros muy descohesionados con evidentes problemas de degradación. Además, en los pocos fragmentos que se han conservado hasta nuestros días, es complicado detectar restos de policromías lo que hace que en la actualidad exista un desconocimiento importante de las mismas. Este hecho ha motivado que sean muy escasas las investigaciones que profundizan en el estudio de tratamientos adecuados para la conservación de este tipo de decoraciones, al contrario de lo que sucede en la pintura mural romana, donde son muy abundantes tanto los estudios enfocados a determinar su composición técnico-material, como los productos adecuados para su conservación (Hansen *et alii*, 2003).

Por otra parte, en las yeserías medievales, uno de los problemas fundamentales es el de la conservación de su material de base, el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), muy sensible a la humedad como se expone en diversos trabajos publicados (Rubio Domene, 2006; 2010; García Bueno *et alii.*, 2005). Además, a estos inconvenientes del soporte se suman el de la pérdida y descohesión de las policromías originales (realizadas al temple) que, por su naturaleza orgánica, en condiciones de enterramiento sufren graves problemas de conservación.

A todo lo anterior se añade que los tratamientos de restauración que se han utilizado de manera habitual en este tipo de revestimientos, en muchos casos no cumplen las expectativas requeridas (p. ej. se obtiene escasa profundidad de penetración, se producen alteraciones en la morfología y la porosidad, brillos indeseados en las policromías...). Hay que señalar además que, de manera tradicional en muchos casos, los pro-

ductos que se han empleado en restauración no han sido originados para este fin, sino que se han adaptado de otras vertientes de la industria (Horie, 2010). Todo ello ha puesto de manifiesto la necesidad urgente de abordar investigaciones exhaustivas sobre los productos de consolidación a emplear en este tipo de decoraciones policromadas con el objetivo de garantizar la conservación de estos revestimientos y evitar su pérdida definitiva.

Por ello, para este trabajo se han seleccionado un conjunto de cuatro consolidantes para ser evaluados, dos de ellos utilizados de manera tradicional en este tipo de contextos, una resina acrílica y un silico-orgánico (silicato de etilo), un polímero vinílico (butiral de polivinilo), conocido, pero menos empleado en este tipo de intervenciones, y por último, uno de reciente incorporación y de carácter fundamentalmente biológico (carbonatogénesis bacteriana).

En cuanto a la evaluación y control de estos tratamientos, uno de los instrumentos más interesantes que en la actualidad tenemos, es la realización de ensayos y análisis de materiales sobre un corte o una sección de una micromuestra mediante técnicas instrumentales de alta resolución. (Parra, 1998). De este modo, se obtiene una información muy precisa, imposible de obtener con valoraciones realizadas a *visu*, lo que aporta datos de gran utilidad para la elección de uno u otro producto. Así, para este trabajo se han seleccionado fundamentalmente dos técnicas de estudio, un análisis previo mediante microscopía estereoscópica y un análisis en profundidad con microscopía electrónica de alta resolución (HRSEM).

Además, la posibilidad de confrontar los resultados obtenidos en dos tipos de soporte

(cal y yeso), ofrece la oportunidad única de identificar los valores positivos y negativos de cada uno de los tratamientos propuestos, así como de su viabilidad para la conservación de este tipo de decoraciones murales presentes en contextos arqueológicos.

---

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 2.1. ELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN A EVALUAR

Uno de los problemas fundamentales a la hora de abordar este tipo de investigaciones es el gran número de productos de tratamiento que se fabrican y comercializan, y sobre los que, en algunos casos, todavía hay poca experiencia en cuanto a los resultados que proporcionan a medio plazo (Villegas Sánchez, 2007). Teniendo en cuenta estas consideraciones, y después de hacer una revisión en profundidad de los posibles consolidantes a utilizar, en función tanto de la experiencia previa del equipo, como de los trabajos publicados, se han seleccionado cuatro de ellos, entre los que se encuentran tratamientos que se han empleado tradicionalmente para la intervención en este tipo de revestimientos, así como otros de nueva incorporación y menos experimentados. En primer lugar se han elegido dos de los productos que se han empleado más frecuentemente en contextos arqueológicos (ya sea para consolidar los revestimientos, para su extracción o para su conservación *in situ*) y que son la **resina acrílica** (metilacrilato-etilmetacrilato), más conocido como Paraloid® B72, y el **silicato**

**de etilo** de la línea de productos de conservación ESTEL.

El primero de ellos, el Paraloid® B72, se considera el más habitualmente utilizado en contextos arqueológicos al ser un producto muy versátil y poder emplearse en diferentes tipos de consolidaciones: de película pictórica en estado pulverulento, escamación y debilidad a causa de la humedad; así como pulverulencia y descohesión de los componentes del mortero. La principal desventaja del mismo es que se introduce en el material poroso una sustancia de naturaleza muy diferente lo que provoca cambios en la porosidad del mismo, pudiendo además causar brillos y formar superficies impermeables cuando se aplica a altas concentraciones o existe una rápida evaporación del disolvente en el que se diluye (López Ortega, 1999; Constâncio *et alii*, 2010).

En relación al segundo de los productos seleccionados, el silicato de etilo, se debe señalar que su principal ventaja radica en que su sistema de consolidación está basado en el hecho de formar sílice estable, compactando de esta forma el material tratado sin formar una capa plástica impermeable y; además sin originar productos secundarios, como sales, que puedan dañar el original, ya que al reaccionar solo se libera alcohol que se evapora. Suele presentar una buena penetración por su bajo peso molecular, así como una fácil aplicación, lo que lo ha convertido en uno de los materiales que más se emplea actualmente en contextos arqueológicos (López Arteaga, 1999). Además, uno de los últimos productos comerciales desarrollados, el denominado Bioestel, incorpora una función biocida lo que lo hace especialmente útil en contextos arqueológicos como método pre-

ventivo. Por otra parte, entre las desventajas de este producto, debe señalarse su sensibilidad ante los cambios de humedad y temperatura, la posibilidad de producir rigidez en la película, presentar un proceso de consolidación lento y su irreversibilidad (Dal Monte, 1998; Castilla, 2011; Zendri *et alii*, 2007).

Asimismo se ha seleccionado el **butiral de polivinilo** que, si bien se ha utilizado en menor medida para el tratamiento de este tipo de revestimientos, dadas sus características, se ha considerado que puede ser interesante conocer su efecto específico sobre este tipo de superficies decoradas. Este producto es un “derivado del alcohol polivinílico que se sintetiza por medio de la hidrólisis ácida del acetato de polivinilo en presencia de butanal” (Peris Vicente, 2007, 67). Entre sus ventajas destaca una buena estabilidad química, reversibilidad y una buena resistencia a la radiación, habiéndose empleado en algunas ocasiones en contextos arqueológicos, sobre todo en engasados de cerámicas (Lacayo, 2002). Hasta la fecha ha sido poco estudiado para consolidaciones de revestimientos en relieve, aunque sí existen referencias a su aplicación en conjuntos de yeserías como es el caso del Cuarto Real de Santo Domingo en la ciudad de Granada (Bueno Vargas *et alii*, 2006) o en el mihrab de la mezquita de Fiñana donde se utilizó para el borde de las lagunas. Entre las desventajas de emplearlo, Borgioli y Cremonesi (2005) destacan que la presencia de grupos hidróxilos en el mismo, puede causar la reticulación del producto si sobre el sustrato están presentes grupos reactivos como los aldehídos, aminoácidos o epoxídicos.

En último lugar se ha incorporado para este ensayo un tratamiento de biominerali-

zación, denominado **carbonatogénesis bacteriana**. En este sentido hay que destacar que, aunque los primeros estudios sobre bioconsolidación de material pétreo *in situ*, se iniciaron en la década de los 90, ha sido en los últimos años donde se han desarrollado los mecanismos adecuados para la consolidación, ya que las primeras pruebas contaban con importantes inconvenientes como el de la aparición de hongos al crear un ambiente ácido, así como el de tener que introducir nuevas especies bacterianas en el material que se trataba (Becerra Luna, 2015).

El método ensayado para este trabajo (carbonatogénesis bacteriana) ha sido desarrollado en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, y está basado principalmente, en la formación de minerales mediante un proceso biológico. Este tratamiento se fundamenta en que, en la microbiota presente en el patrimonio, el 95% de las bacterias son carbonatogénicas, es decir, capaces de inducir, en ciertas condiciones, la producción de carbonato cálcico como consecuencia de su metabolismo; por lo que se aprovecha este hecho para consolidar la obra de manera natural. Estas bacterias (denominadas, *Myxococcus xanthus*), pueden estimularse, a partir de una solución nutritiva adecuada, lo que las activa y genera *in situ* un nuevo biocemento. Para ello, solo hay que rociar la superficie a consolidar con una solución nutritiva que aporte aminoácidos o urea, además de calcio (denominada M-3P), manteniendo en lo posible una temperatura entre los 17-25°C aprox. para la correcta activación de las bacterias. De esta manera, tanto las células bacterianas como el material polimérico extracelular (EPS) producido, actúan como núcleos heterogéneos de cristalización para la producción de carbonato cálcico

(calcita y/o vaterita), contribuyendo con este proceso a la consolidación del material tratado, aumentando la resistencia química y mecánica (González-Muñoz *et alii*, 2008). A *priori*, y como ha sido puesto de manifiesto en investigaciones precedentes, este tratamiento presenta ventajas importantes para los materiales tratados como son: respetar la permeabilidad de los materiales sobre los que se aplica, no interferir en tratamientos posteriores, la compatibilidad con el substrato, así como no precisar el uso de disolventes para su aplicación (Panella *et alii*; 2017). Su eficacia ha sido comprobada en estudios sobre yesos de procedencia arqueológica (Jroundi *et alii*, 2014; 2011) en los que se ha puesto de manifiesto una adecuada activación de las bacterias carbonatogénicas y, consiguientemente, un notable grado de consolidación que alcanza más de un centímetro de profundidad en el substrato (González-Muñoz *et alii*, 2015). En este aspecto hay que resaltar que, aunque los resultados expuestos en estas investigaciones en relación con la consolidación de yesos han demostrado ser muy positivos, así como que el color no se alteraba ni sufría brillos u otro tipo de efectos indeseables, en este trabajo se quiere profundizar en los resultados obtenidos en morteros diferentes (de cal y de yeso), y en relieve, lo que permitirá conocer el comportamiento de la solución nutritiva aplicada, denominada M-3P (solución acuosa), sobre distintos materiales de base. Además hay que señalar algunos inconvenientes de este tratamiento aportados por los investigadores y que se encuentran en revisión, como son los niveles de temperatura requeridos o el hecho de que el aporte de medios nutritivos, podría provocar el desarrollo de microbiota

indeseable que originase posteriores perjuicios al material tratado.

Una vez elegidos los diferentes tratamientos, se determinaron las concentraciones y los métodos de aplicación para los mismos, persiguiendo en todo caso conseguir una consolidación óptima de los fragmentos tratados y que estos fueran reproducibles en un entorno arqueológico (**Fig. 1**). En cuanto a los métodos de aplicación, la resina acrílica, el silicato de etilo y el polímero vinílico,

se aplicaron mediante interposición de papel japonés, realizando dos aplicaciones en dos días consecutivos, con el objetivo de fijar y proteger al máximo los restos puntuales de color que aún se conservaban en los fragmentos intervenidos. Por otra parte, en el caso de la carbonatogénesis bacteriana, la aplicación se ha realizado siguiendo el método descrito por (Jroundi *et alii*, 2014) nebulizando el producto 3 veces al día hasta saturación, a una distancia aproximada de 20 cm, durante 6 días consecutivos.

TIPO DE CONSOLIDANTE	PRODUCTO	CASA COMERCIAL	CONCENTRACIÓN/ PREPARACIÓN	APLICACIÓN
Resina acrílica (metilacrilato-etilmetacrilato)	Paraloid®B72	CTS	Disolución al 5% en disolvente TACO8 (mezcla de disolventes de volatilidad media compuesta por alcohol isopropílico, octano y acetona en concentraciones del 45%, 32% y 23% respectivamente).	2 aplicaciones. <i>Impregnación con brocha mediante interposición de papel japonés.</i>
Silicato de etilo	Bioestel	CTS	Sin diluir	2 aplicaciones. <i>Impregnación con brocha mediante interposición de papel japonés.</i>
Polímero vinílico (Butiral de polivinilo)	Mowital®B60H	CTS	Disolución al 5% en alcohol isopropílico.	2 aplicaciones. <i>Impregnación con brocha mediante interposición de papel japonés.</i>
Carbonatogénesis Bacteriana (solución nutritiva que aporte aminoácidos o urea además de calcio)	M3-P	Solución nutritiva M3-P, aportada por el departamento de microbiología de la Universidad de Granada, análoga a la distribuida por la empresa KBYO Biological	Sin diluir.	3 aplicaciones/día. <i>6 días consecutivos.</i>

**Fig. 1.** Relación de productos y concentraciones aplicados en el ensayo.

## 2.2. SELECCIÓN DE FRAGMENTOS

Para esta investigación se ha tenido la posibilidad de utilizar 5 fragmentos de cornisa romana y 5 fragmentos de yesería medieval procedentes de contextos arqueológicos. En este sentido, uno de los condicionantes fundamentales para el éxito del trabajo era que en ninguno de los casos hubieran sido tratados con anterioridad, con el objetivo de que fuese posible el análisis de los resultados de consolidación sin ningún tipo de interferencia. Así, en el caso de las cornisas romanas, los fragmentos proceden de las cribas de tierra, mientras que en el de las yeserías medievales, los fragmentos seleccionados fueron hallados en el suelo de la estancia del Alcázar.

Antes de proceder a la aplicación de los diferentes tratamientos, se documentaron fotográficamente de manera pormenorizada y se eliminaron todos los depósitos de tierra mediante una limpieza mecánica con bisturí y brochas de cerda suave, poniendo especial cuidado en los restos de policromía que aún se conservaban. Además, en ambos casos, tanto en las cornisas, como en las yeserías, uno de los fragmentos no ha sido tratado con el objetivo de contar con un patrón sin tratar con el que poder comparar los datos y evaluar los resultados obtenidos.

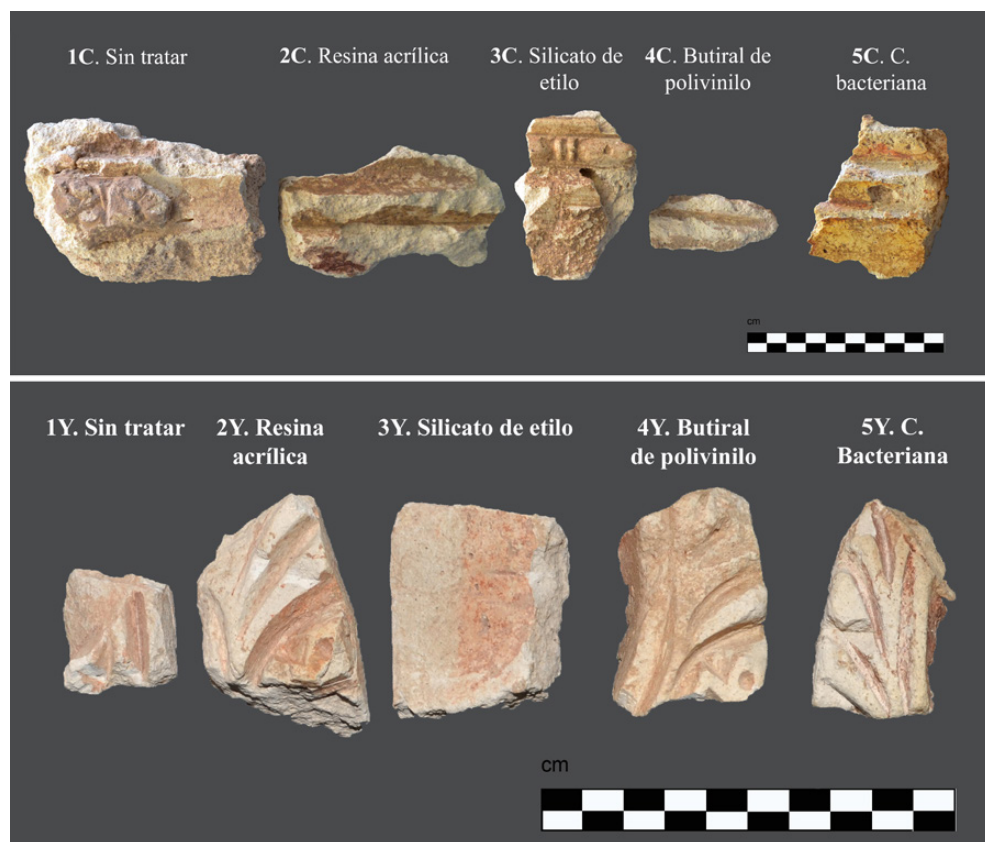
### 2.2.1. CORNISAS ROMANAS

Los fragmentos de cornisa romana proceden de las campañas de excavación que se están llevando a cabo en el Conjunto Arqueológico de *Castulo*. Estos revestimientos en relieve datan del s. I-II d.C. lo que los sitúa cronológicamente en el Alto Imperio Romano, mo-

mento en el que la ciudad de *Castulo* alcanza su máximo esplendor, convirtiéndose en una gran urbe con un próspero desarrollo y crecimiento económico. La importancia de esta ciudad se demuestra por las referencias que se encuentran de ella en los textos clásicos de escritores como Polibio, Plutarco, Estrabón, Apiano, Silio, Itálico y Plinio (Contreras de la Paz, 1967). Este reconocimiento es particularmente importante debido a su protagonismo en la II Guerra Púnica. Cástulo, que en un primer momento apoya y es fiel a la causa cartaginesa, acabará por establecer una alianza con Roma, hecho que le permitirá mantener una excepcional autonomía política, en la que incluso se acuñaba moneda (Rodríguez *et alii*, 2017). Todos los fragmentos seleccionados proceden de la Sala del Mosaico de los Amores, del periodo de esplendor del municipio romano, en concreto de la cornisa que estaba situada en la parte superior del muro, en la que se percibe una delicada decoración floral, acompañada de otros elementos ornamentales, y que en su origen estaría policromada en su totalidad como demuestran los restos de colores rojos y amarillos que se identifican en su superficie (**Fig. 2**).

### 2.2.2. YESERÍAS MEDIEVALES

Por otra parte, los fragmentos de yesería proceden del Alcázar de Guadalajara, en concreto de la parte correspondiente al palacio del s. XIV. Estos fueron hallados como un extenso conjunto en el subsuelo del Alcázar Real durante la excavación de la galería porticada que precedía al salón principal correspondiendo, tanto por su cronología, como por sus características formales, al arte mudéjar desarrollado en la zona (Pradillo y Esteban,



**Fig. 2.** Superior. Fragmentos de cornisa romana procedentes del Conjunto Arqueológico de Castulo. Inferior. Fragmentos de yesería mudéjar procedentes del Alcázar de Guadalajara empleados para el ensayo.

2000; Navarro Palazón, 2007). Los fragmentos empleados para este trabajo probablemente formaran parte de un lienzo de sebka “motivo ornamental difundido por la arquitectura almohade que presenta una retícula de rombos, de trazos lobulados o mixtilíneos” (Fatás y Borrás, 2008: 288) en los que se han conservado sólo restos de color rojo que se localizan en las zonas más profundas del relieve como puede observarse en la documentación aportada (Fig. 2).

### 2.3. TOMA DE MUESTRA

De cada uno de los fragmentos sometidos a ensayo (tratados y sin tratar) se han tomado dos micromuestras de modo que, con las técnicas de análisis empleadas, se pudiera obtener información tanto del perfil como de la superficie. La toma de muestra se llevó a cabo con ayuda de un escalpelo y un bisturí con la precaución de no realizar un corte, sino de desprender un fragmento de manera

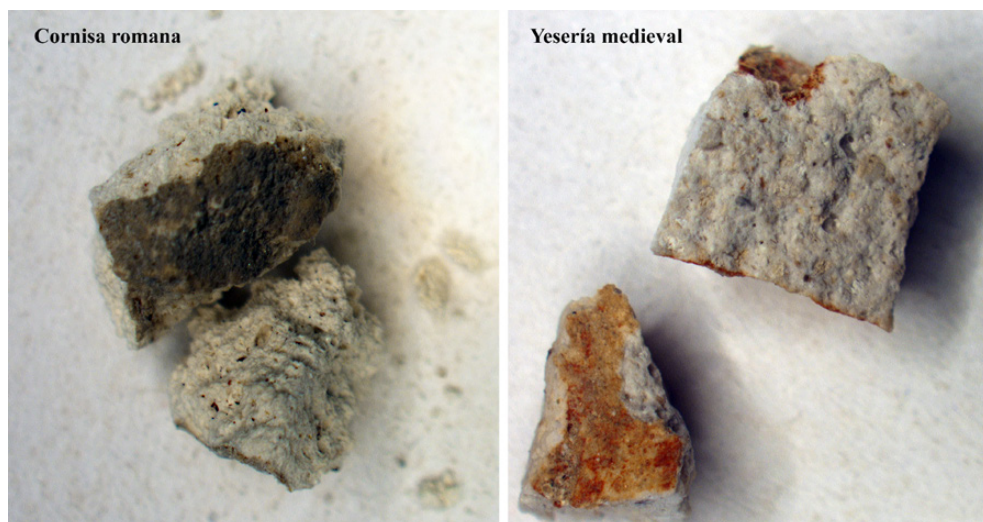
que se respetase la textura y se pudiera obtener información del perfil y del grado de penetración del consolidante. Además, en todo momento, las muestras se manejaron con pinzas con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación.

## 2.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS IDENTIFICATIVAS DE LOS FRAGMENTOS TRATADOS

Para determinar los cambios estructurales producidos en los fragmentos tratados se han empleado fundamentalmente dos técnicas: un primer examen visual mediante microscopio estereoscópico y un análisis textural y elemental mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución (HRSEM).

- El análisis mediante microscopio estereoscópico se ha realizado con un microscopio Nikon SMZ 1000 gracias al cual se llevó

a cabo una observación pormenorizada y se obtuvieron microfotografías, tanto de la superficie como del corte estratigráfico, mediante la cámara que lleva incorporada el dispositivo (DS-U3 Digital Camera). Para esta observación las muestras no han sido preparadas y se han manipulado con pinzas buscando la sección sobre la cual se obtiene mayor información. La observación de las muestras y la realización de microfotografías con este método antes de que las muestras sean preparadas para su observación con HRSEM, supone una gran ventaja como ya ha sido puesto de manifiesto en trabajos precedentes (Calero Castillo *et alii.*, 2016), pues permite examinar en profundidad las mismas (restos de policromía, morfología del mortero, cambios de apariencia entre los diferentes tratamientos, así como en fragmentos tratados y sin tratar...). Además, de esta forma, en los casos



**Fig. 3.** *Izqda.* Muestra de perfil y de superficie del fragmento 5C (*Carbonatogénesis bacteriana*). *Dcha.* Muestra de perfil y de superficie de la muestra 2Y (*Resina acrílica*). *Imágenes de microscopía estereoscópica.*



en los que se ha necesitado información o aclaración sobre algún aspecto concreto en el transcurso del análisis posterior, se ha podido recurrir a estas imágenes (**Fig. 3**).

- El estudio mediante HRSEM se ha realizado con un microscopio electrónico de barrido de alta resolución Zeiss SUPRA 40VP, equipado con un sistema de microanálisis por Energía dispersiva de rayos X (EDX) con detector de gran superficie X-Max 50mm. Para ello, las muestras, tanto las del corte como las de la superficie, se han preparado con carbón. La finalidad de la aplicación de este método de análisis ha sido la de obtener información sobre la distribución de los productos en las muestras tratadas (perfil y superficie), así como detectar diferencias entre las muestras consolidadas y sin consolidar (porosidad, cambios de composición, tipo de película que se forma, grado de penetración del consolidante...). Además, las imágenes de alta resolución que se obtienen, nos han permitido identificar alteraciones o particularidades provocadas por los tratamientos. Para efectuar este análisis se ha establecido una metodología de trabajo que se ha seguido en todas las muestras estudiadas y que ha consistido en la captura sistemática de imágenes de la superficie en diferentes magnificaciones (100x, 500x, 1500x, 5000x, 15000x), mapa de distribución de elementos (condiciones: mapa de 510 píxeles, binning factor, imagen con resolución de 1024 píxeles, 34 frames, 20kw, 100 microsegundos, 13,6 *duel time*) y un análisis elemental de la distribución del consolidante en la muestra colocada de perfil (*line profile*) que ha sido fundamental para determinar la penetración de los tratamientos, su distribución y composición.

---

## 3. RESULTADOS

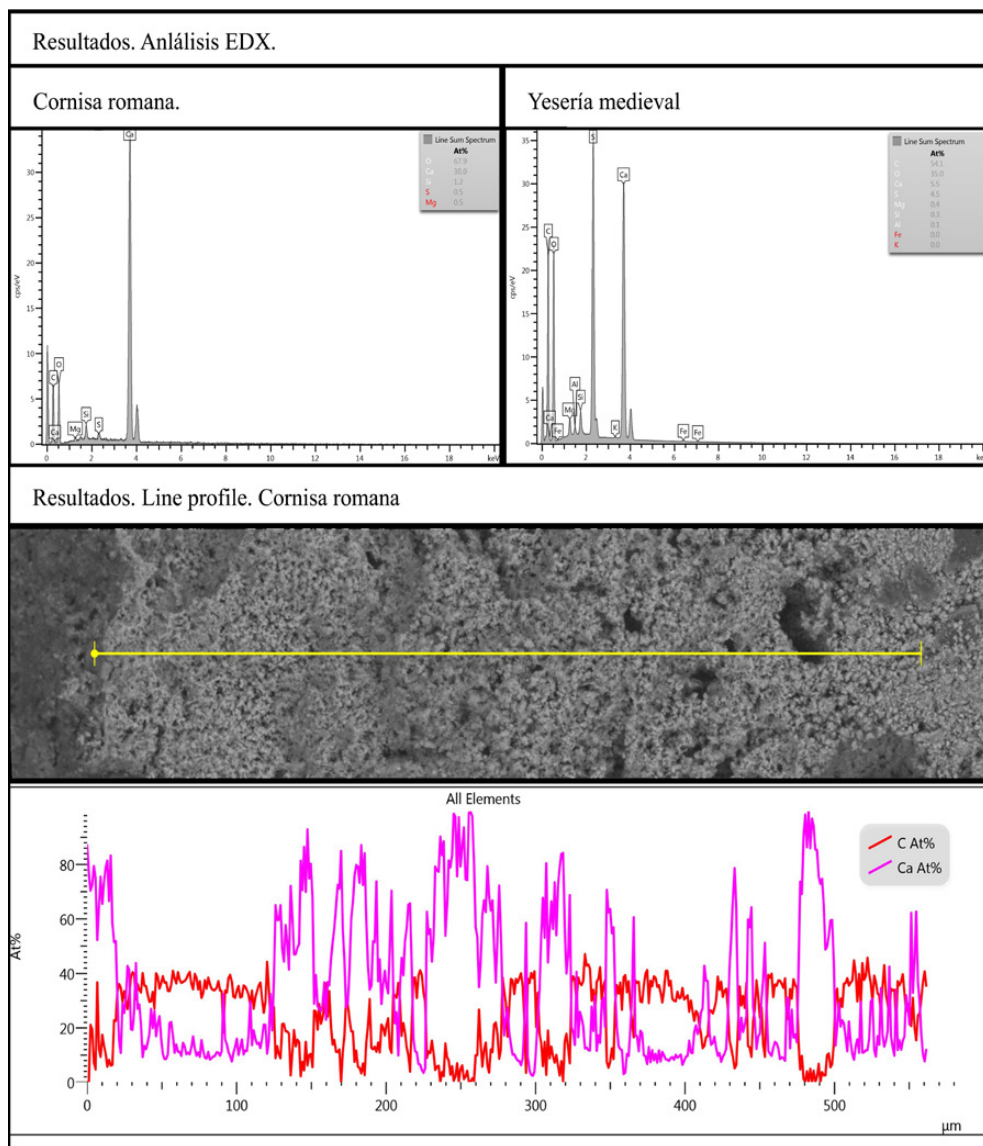
---

### 3.1. MUESTRAS SIN TRATAR

En primer lugar se han estudiado muestras sin tratar, tanto de cornisa como de yesería para conocer la composición del material original y servir de testigo comparativo para poder analizar el efecto que los diferentes consolidantes han tenido y como han modificado el material de referencia.

#### 3.1.1. COMPOSICIÓN MATERIAL

La realización de microanálisis puntuales por EDX, ha permitido comprobar que en el caso de la cornisa el material de base es mayoritariamente calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Famiglietti & Scioscia Santoro (2001), que afirman que el conglomerante más utilizado en los relieves romanos es la cal. Del mismo modo, Guiral Pelegrín (2000) expone que, aunque en teoría estos elementos se realizan con una mezcla de cal y polvo de mármol, en sus estudios realizados a diversos materiales encuentra, en la mayor parte de los casos, cal más o menos cargada de arena tamizada, lo que coincide con los materiales identificados en *Castulo* (**Fig. 4**). Además, en casos puntuales, y coincidiendo con los fragmentos que presentan restos de policromía, se detecta hierro, lo que se debe atribuir a la utilización de tierras para obtener los colores rojos y amarillos (Calero Castillo *et alii*, 2016). En este sentido se ha comprobado que, en ciertos casos, la presencia de hierro, correspondiente al pigmento hematites o tierra roja aparece asociado a la presencia de fósforo, lo que coincide con lo expuesto por López Martínez (2015) en su publicación sobre las



**Fig. 4.** Superior. Análisis de las muestras 1C y 1Y, ambas sin tratar. Mientras que en la muestra 1C se observa que el componente mayoritario es calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), en el caso de la muestra 1Y, se comprueba que el mayoritario es el yeso ( $\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$ ). Imágenes de EDX, obtenidas en el análisis de HRSEM. Inferior. Resultados del line profile obtenidos de la muestra 1C. Los componentes fundamentales detectados son C y Ca, que son los representados en el gráfico. Como elementos minoritarios se detectan, entre otros Si y Mg que no se representan en el gráfico combinado al presentar valores muy bajos.

pinturas murales de este mismo conjunto arqueológico, en el que la identificación de fósforo se ha atribuido al empleo del pigmento negro de hueso, que se mezclaría con el rojo para oscurecer su tono. El fósforo también podría deberse a la presencia de cola animal, ya que en estudios sobre identificación de colas se ha observado que a pesar de altos niveles de degradación se sigue identificando este elemento.

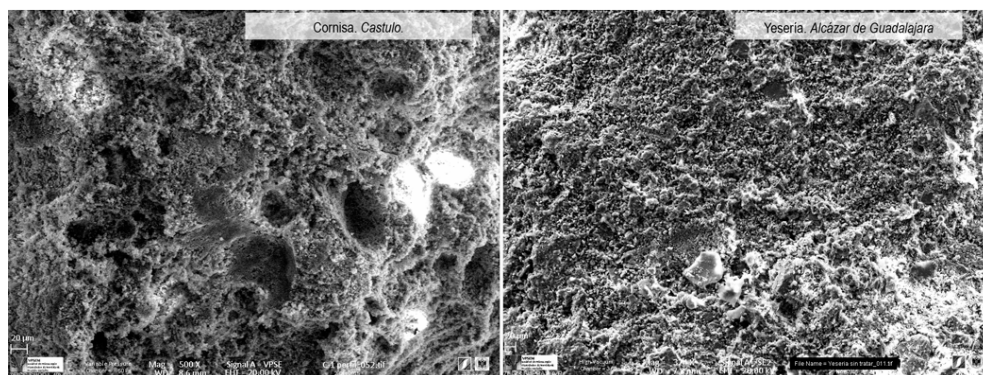
Por otra parte, en el caso del fragmento de yesería analizado, se comprueba que el componente mayoritario es el yeso ( $\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$ ). En los análisis realizados junto al yeso, se identifican otros componentes como aluminosilicatos u óxidos de hierro. Los últimos, aunque en baja proporción, pueden corresponder tanto a impurezas del material de base, como a restos de óxidos de hierro rojos empleados en la policromía superficial del revestimiento, y que además era bastante frecuente en este periodo (**Fig. 4.**). Las particularidades de este mortero, con un alto contenido en tierras, granulometría gruesa y textura poco homogénea, pueden coincidir con el empleo del llamado “yeso negro”, presente en decoraciones de referencia de época medieval como son las yeserías del Cuarto Real de Santo Domingo o el oratorio de la Madraza, ambas en la ciudad de Granada (**Fig. 4**) (García y Medina, 2004; García Bueno *et alii.*, 2010).

### 3.1.2. MORFOLOGÍA Y TÉCNICA DE EJECUCIÓN

En lo que respecta a la morfología de ambos revestimientos, la observación realizada mediante HRSEM ha permitido constatar diferencias en el aspecto textural de los mis-

mos, lo que puede atribuirse tanto al material constitutivo como a la técnica de ejecución. Mientras que en la yesería observamos un material mucho más compacto, en el caso de los fragmentos de cornisa se percibe una matriz mucho más porosa, lo que se ha relacionado, por una parte, con la técnica de realización (molde o terraja de madera) y, por otra, con la posible adición de material orgánico en la formulación con el objetivo de aligerar el peso de estos elementos que se disponían habitualmente en la parte superior de los muros (Guiral Pelegrín y Martín Bueno, 1996). La adición de material orgánico al mortero en época romana está documentada tanto por grandes autores de la época, como Plinio o Vitrubio, así como por investigaciones publicadas en las últimas décadas que han realizado un análisis de ellos en profundidad Sickles (1982) o Guasch Ferré (2016) entre otros (**Fig. 5**).

En lo que respecta a los fragmentos de yesería, es bastante difícil distinguir a partir de los mismos si la técnica de ejecución es tallada o a molde, debido tanto a su descontextualización como a sus dimensiones muy reducidas. No obstante, la probable utilización de yeso negro, como ya se ha comentado con anterioridad, así como la profundidad del relieve, podría ser un indicativo de que la técnica de ejecución hubiera sido mediante talla (García Bueno y Medina Florez, 2004). En este sentido, además el carácter compacto del mortero observado en las imágenes de HRSEM, puede deberse al fratasado del yeso que en la técnica medieval se realizaba antes de proceder a la ejecución del diseño y posterior tallado del mismo, que después se embellecía con la aplicación del color (**Fig. 5**).



**Fig. 5.** *Diferencias entre las texturas del mortero entre cornisa y yesería. Mientras que en la imagen obtenida de la cornisa se observa un mortero mucho más poroso, en el caso de la yesería se percibe un mortero más compacto. Imágenes obtenidas del análisis de la superficie de las muestras 1C y 1Y, ambas sin tratar.*

### 3.2. MUESTRAS TRATADAS

En lo que respecta a los resultados obtenidos en el análisis de los fragmentos tratados, los datos de mayor interés se han conseguido del estudio exhaustivo de la morfología de la muestra a partir del mapa de distribución de elementos y el análisis de su perfil. Así, la metodología seguida ha permitido conocer la composición material, los cambios provocados por los tratamientos; así como la penetración de los productos seleccionados. A continuación se comentan de manera individualizada los resultados obtenidos en cada uno de los fragmentos sometidos a ensayo.

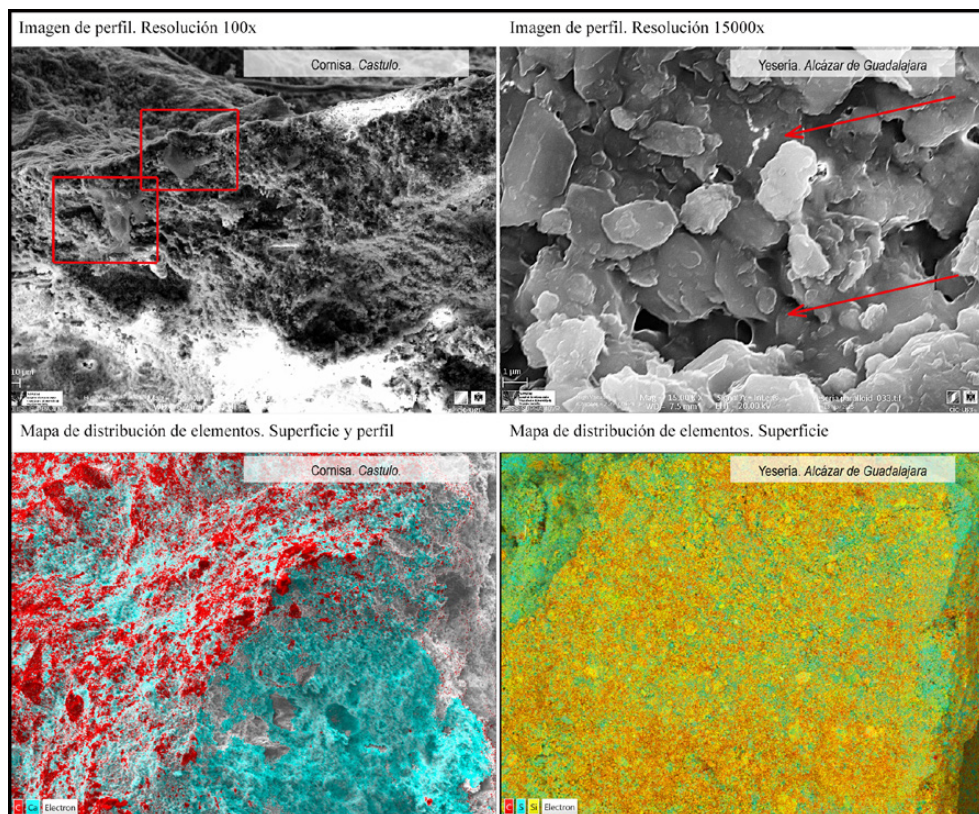
#### 3.2.1. PRODUCTO ENSAYADO: RESINA ACRÍLICA

La consolidación con resina acrílica, tanto en el fragmento de cornisa como en el de yesería, no evidencia cambios significativos en la superficie en la que no se detecta *a priori* la presencia de una película plástica. Sin em-

bargo, si se analiza el perfil de las muestras tratadas mediante HRSEM, se comprueba que, en el caso de la cornisa aparecen restos de resina que son visibles a partir de una magnificación relativamente baja (100x). Por el contrario, en el fragmento de yeso tratado, este aspecto plástico del producto se detecta a una magnificación mayor (15.000 x) como puede comprobarse en la figura 6.

Por otra parte, los datos obtenidos del *line profile* evidencian una concentración significativa de carbono (C) en la zona más superficial de la muestra, lo que demuestra que el producto ha quedado muy cercano a la superficie. La penetración del producto se detecta hasta una profundidad aproximada de 240  $\mu\text{m}$  en el caso del fragmento de cornisa, mientras que en el de yeso es algo menor (180-200  $\mu\text{m}$  aprox.).

Asimismo, el mapa de distribución de elementos ha evidenciado material orgánico en superficie de manera bastante homogénea como resultado de la aplicación del tratamiento. Los análisis realizados demuestran



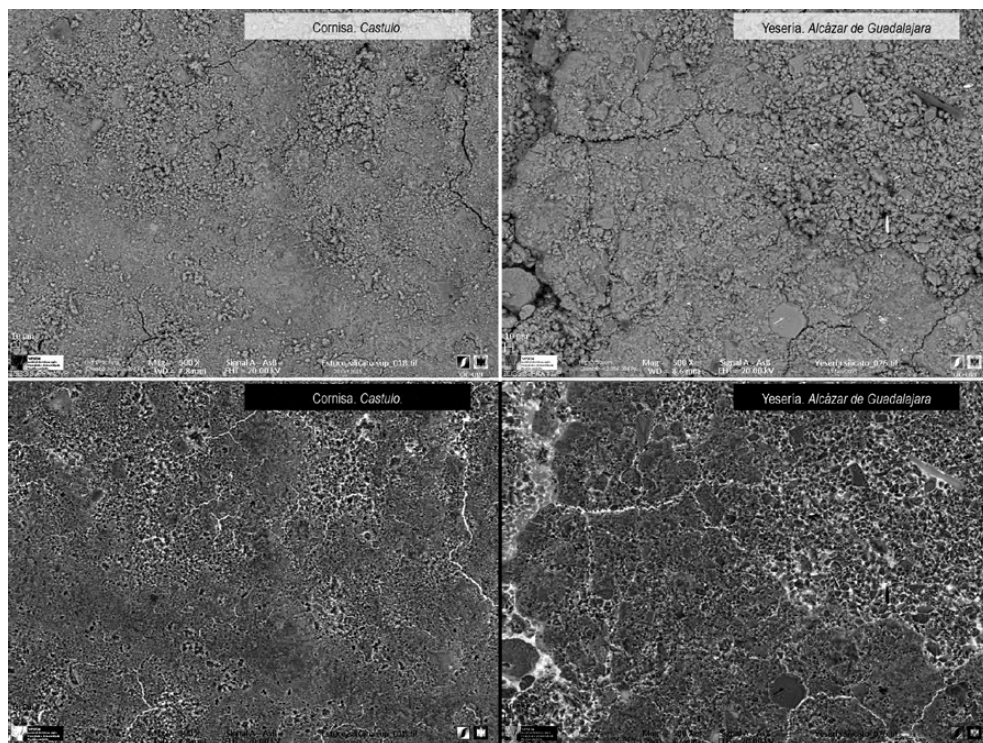
**Fig. 6.** Superior. Comparación de las imágenes de perfil obtenidas de las muestras tratadas (2C, 2Y) y señalización de los restos de resina. Inferior. Mapa de distribución de elementos de las muestras tratadas (2C, 2Y), en las que se comprueba la distribución del tratamiento aplicado (C).

que el producto ha sido efectivo pero que presenta una escasa penetración como se puede apreciar en las imágenes obtenidas del perfil (**Fig. 6**).

### 3.2.2. PRODUCTO ENSAYADO: SILICATO DE ETILO

El estudio de las muestras tratadas con silicato de etilo ha permitido observar con claridad que, tanto en el fragmento tratado de cornisa como en el de yesería, se producen ciertos

cambios en la superficie que son consecuencia directa de la aplicación de este producto, ya que sólo se observan en las muestras tratadas con este material. En este sentido, cabe destacar la aparición de una serie de microfisuras de similar morfología en las dos muestras tratadas. Respecto a la procedencia de estas microfisuras se ha considerado que podrían tener su origen en la rigidez de la película que forma este consolidante y, sobre todo, a la rápida evaporación del disolvente en el que viene preparado el producto comercial que es el alcohol isopropílico, lo que

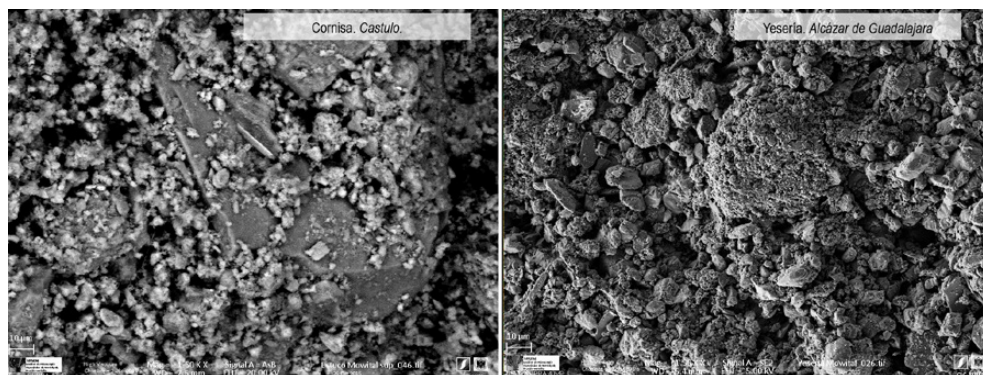


**Fig. 7.** Superior. Imagen de detalle de la superficie de las muestras tratadas con silicato de etilo C3 (izqda.) y Y3 (dcha.). Inferior. Misma imagen invertida mediante medios de tratamiento de imagen. En ambas superficie se observan la microfractura de la película formada en superficie. Las imágenes demuestran que la microfractura producida en la yesería es mucho mayor que la de la cornisa, probablemente debido a su menor porosidad.

podría dar origen a la microfractura de la película formada al presentar un porcentaje de volatilidad de 100% VOL. La formación de ese tipo de microfracturas es frecuente con este producto y ya ha sido expuesta en otros trabajos de investigación publicados (Jroundi *et alii*, 2014) (**Fig. 7**).

Por otra parte, cabe destacar que el análisis del perfil con respecto al efectuado en la resina acrílica, es más claro puesto que el mecanismo de acción del producto utilizado hace que precipite un nuevo material,

en concreto sílice. Al igual que en el caso de la resina acrílica, los gráficos de *line profile* obtenidos nos informan de la presencia de material (Si) a una mayor profundidad en la cornisa, mientras que en la yesería, aunque esta penetración se produce, esta es considerablemente inferior. En el caso de la muestra de cornisa (3C), se detecta una cantidad apreciable hasta los 100-120 $\mu$ m, profundidad a partir de la que se evidencia un considerable descenso. Por otra parte, en el caso de la decoración de yeso (3Y), se aprecia que la mayor parte del producto ha quedado en



**Fig. 8.** Superficies de las muestras tratadas con butiral de polivinilo (4C),(4Y). En las mismas puede comprobarse que no se producen cambios en la superficie, respetándose con el empleo del tratamiento la textura original de las muestras tratadas.

superficie produciéndose una mínima penetración. En ambos casos el grado de penetración ha sido inferior al de la resina acrílica.

Por último, los mapas de distribución de elementos han evidenciado la presencia de considerable producto en superficie, pues revelan un considerable aumento de sílice en esta zona, tanto en la muestra de cornisa, como en la de yeso si se comparan con la superficie de su patrón sin tratar.

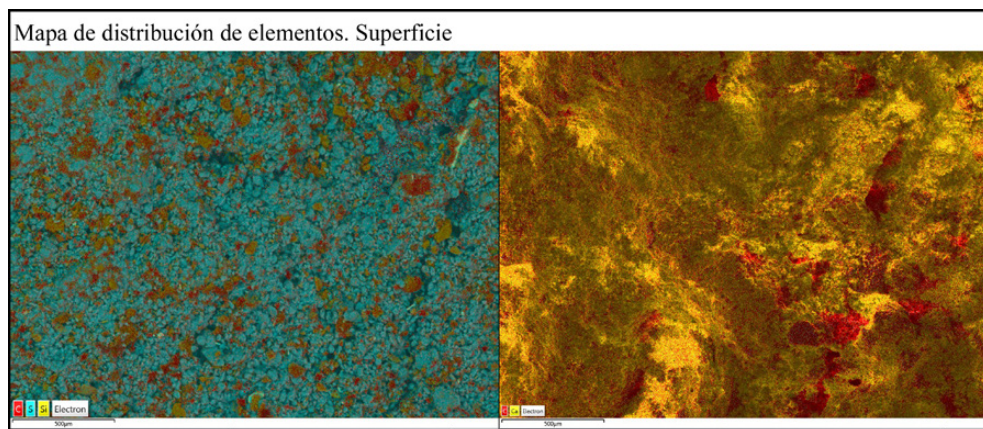
### 3.2.3. PRODUCTO ENSAYADO: BUTIRAL DE POLIVINILO

En este caso, en un primer análisis general mediante HRSEM de las muestras tratadas, se ha comprobado que el consolidante no crea una película evidente sobre la superficie tratada, no aparecen brillos ni se detectan restos de material plástico, por lo que se puede afirmar que no aporta cambios significativos ni en la superficie ni en el perfil de las muestras estudiadas (**Fig. 8**).

Por otra parte, los resultados obtenidos mediante el análisis de *line profile*, en los

fragmentos de ambas decoraciones, evidencian una penetración del producto que se sitúa en torno a los 300- 400µm como valor medio. A diferencia de los casos anteriores, en estas muestras la penetración es algo superior en la muestra de yeso, en la que se detectan evidencias de producto aproximadamente hasta 400-500µm, mientras que en el caso del fragmento de cornisa, esta impregnación se produce a una profundidad de 300- 350 µm aprox.

Además, los mapas de distribución de elementos evidencian que, aunque el producto penetra de manera considerable en el interior de las muestras tratadas, una parte del mismo queda en la superficie durante el proceso de secado. En los análisis realizados, la determinación del producto en superficie se identifica por una mayor presencia de material orgánico (C), respecto a las muestras sin tratar, lo que demuestra la permanencia, así como la efectividad del producto aplicado en la capa más externa o superficial (**Fig. 9**).

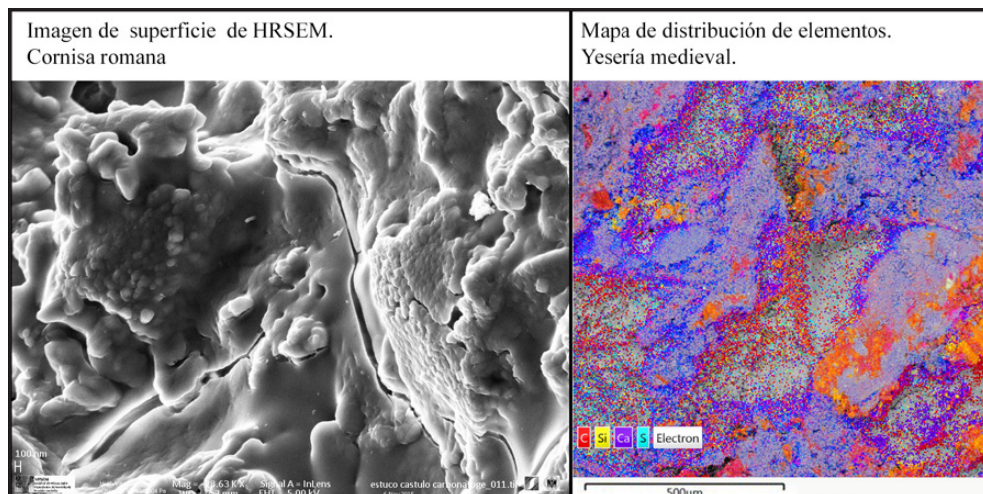


**Fig. 9.** Mapa de distribución de elementos de las muestras tratadas con butiral de polivinilo. En ambas imágenes el C, se identifica con el color rojo. Izqda. Muestra de cornisa (4C). Dcha. Muestra de yesería (4Y).

### 3.2.4. PRODUCTO ENSAYADO: CARBONATOGÉNESIS BACTERIANA

Cuando se realiza un examen general de las muestras de cornisa y de yesería consolidadas con carbonatogénesis bacteriana se pue-

de observar que, en principio, el tratamiento no parece crear película sobre la superficie ni tampoco grietas o fracturas. Sin embargo, al elevar la magnificación para poder distinguir el EPS formado como consecuencia de la actividad microbiana, y que se incorpora a los



**Fig. 10:** Izqda. Imagen de superficie de HRSEM de la muestra de cornisa romana (5C), en la que puede observarse la creación de un tapiz que respeta la morfología del material original. Dcha. Mapa de distribución de elementos de la superficie tratada con carbonatogénesis bacteriana en el fragmento de yesería. Muestra (5Y).



cristales neoformados de carbonato cálcico, se puede observar un tapiz de material generado como subproducto de esta actividad con pequeñas fisuras, tapiz que respeta la morfología del material original, lo que coincide con los resultados expuestos en investigaciones precedentes (Calero Castillo *et alii*, 2016; Jroundi *et alii*, 2014).

Por otra parte, el análisis para conocer la distribución de elementos o la penetración del producto en este caso ha sido más complejo ya que, como se dijo en el apartado de materiales y métodos, este tratamiento se fundamenta en la producción de carbonato cálcico que es el mismo material de base de las cornisas romanas de este trabajo, lo que hace que sea prácticamente imposible distinguir con estos métodos tanto su distribución en superficie, como su penetración.

En lo que respecta al mapa de distribución de elementos realizado sobre el fragmento de yesería, éste ha permitido conocer que el tratamiento ha sido efectivo pues es evidente la formación de calcita en la superficie de la muestra (**Fig. 10**). Por otra parte, en relación con la penetración, los análisis llevados a cabo en el perfil de las muestras tratadas han permitido detectar presencia de calcita aproximadamente hasta 180µm.

---

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

---

De forma global hay que decir que los resultados obtenidos han demostrado la efectividad de todos los productos ensayados, así como las peculiaridades que producen cada uno de los tratamientos sobre los revesti-

mientos utilizados para esta investigación, no detectándose diferencias sustanciales en el comportamiento de los mismos entre los fragmentos de cornisa y de yesería.

En primer lugar, en el caso de la **resina acrílica**, a partir de los análisis realizados con HRSEM, se ha comprobado que, aunque *a priori* no se detecta una película en superficie, cuando se realiza una observación con más aumentos se identifican restos de resina de aspecto plástico. Este hecho, que es indicativo de la efectividad del tratamiento sobre la obra tratada, debe tomarse en consideración sobre todo cuando se trata de revestimientos expuestos a condiciones fluctuantes de humedad y temperatura, como suelen ser los arqueológicos, pues la falta de permeabilidad que induce el nuevo material puede favorecer la descohesión de los estratos inferiores al condensarse la humedad en el interior, propiciando además la cristalización de sales. Por otra parte, su penetración con el disolvente, concentración y método empleado (en torno a los 200 µm), aunque es satisfactoria, es inferior a la alcanzada por otros productos como el butiral de polivinilo. Estos datos nos indican que este tratamiento solo sería aceptable para obras que se encuentren en condiciones muy estables y controladas de humedad relativa y de temperatura, y siempre en concentraciones bajas para no formar una película plástica e impermeable gruesa que impida la transpiración de los materiales internos.

En segundo lugar, en relación al **silicato de etilo**, la identificación de sílice en superficie evidencia la efectividad del tratamiento, pero su menor penetración (en torno a los 100µm en el caso de la cornisa y prácticamente inapreciable en el caso del fragmento

de yeso), así como la microfracturación que sufre la película formada al secarse, hace que deban tenerse en cuenta estas consideraciones, sobre todo cuando este tratamiento se aplica en yacimientos arqueológicos en periodos estivales en los que las temperaturas son bastante altas, así como en condiciones de humedad relativa elevada. A pesar de ello, su mayor compatibilidad con el sustrato en el que se aplica, lo convierte en una opción válida para aplicar en revestimientos murales arqueológicos siempre que se tengan en cuenta las consideraciones anteriormente expuestas.

En tercer lugar, en lo que respecta a los resultados obtenidos de la aplicación del **butiral de polivinilo**, se puede afirmar que han sido satisfactorios tanto en lo que a efectividad del producto se refiere, como en lo relativo al nivel de penetración en el mortero. Mientras que la presencia de compuestos orgánicos en superficie es indicativa de la actuación del consolidante utilizado, no se ha detectado, a ninguno de los aumentos en los que se ha observado la muestra, ni la formación de una capa plástica, ni cambios significativos, tanto en el perfil como en el plano superior. Por otra parte, la penetración del producto, se detecta de manera considerable hasta aproximadamente los 400µm, lo que es bastante satisfactorio si se compara con los resultados obtenidos en el resto de muestras tratadas, pudiéndose considerar en este trabajo como el producto con mayor penetración en el sustrato. Teniendo en cuenta los datos obtenidos, este tratamiento sería aceptable para la consolidación de ambos revestimientos decorativos. No obstante, se estima que en un futuro sería interesante comprobar su efectividad variando tanto el número de capas como la concentración, con

el objetivo de obtener el método óptimo para su aplicación.

Por último, en el caso de la **carbonatogénesis bacteriana**, aunque no presente una capa uniforme y continua (discontinuidad debida a que el tratamiento respeta los poros del material original), se ha constatado la formación de carbonato cálcico y de EPS que, a su vez, contribuye al proceso de carbonatogénesis. Estos hechos han favorecido la consolidación, tanto en la superficie como en profundidad hasta aproximadamente 180µm, como lo corroboran los resultados de los análisis efectuados con HRSEM en el fragmento de yesería. Todo ello es muy importante por ser indicativo de que el tratamiento, a la vez que efectivo y respetuoso con la porosidad del material, permite cualquier modalidad de operación posterior sin ningún tipo de problema, ya que el nuevo material formado es de la misma naturaleza que el mortero y, por tanto, totalmente compatible con el mismo. Por consiguiente, según los datos recopilados, podemos concluir que es un tratamiento adecuado para fragmentos arqueológicos con policromías con cierto grado de cohesión. No obstante consideramos que, particularmente en el caso de fragmentos con restos de policromía muy descohesionada, debido al método de aplicación requerido, (hasta saturación, 6 días a la semana/3 aplicaciones consecutivas) sería aconsejable realizar pruebas previas con el objetivo de evaluar la respuesta de la capa de color antes de acometer el tratamiento completo. Además, como ya se ha especificado, en los casos en los que se aplique este tratamiento en obras *in situ*, habrá que tener muy en cuenta la temperatura del yacimiento para que el tratamiento sea efectivo. Por otra parte, aunque su reciente incorporación en el campo de los tratamien-

tos de restauración para los revestimientos policromos hace que no se conozcan todavía los efectos que a largo plazo se producirían, dada la compatibilidad con los materiales sobre los que se aplica, cabe pensar razonablemente que los efectos indeseados son poco probables.

Finalmente, y como conclusión, podemos decir que este trabajo pone de manifiesto la necesidad de continuar desarrollando líneas de investigación orientadas a la conservación de los acabados cromáticos de obras de similar tipología y cronología de origen arqueológico, con el objetivo de fomentar los mecanismos para su conservación y conocimiento, así como para evitar su pérdida definitiva.

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Queremos hacer constar nuestro más profundo agradecimiento al proyecto FORVM MMX, en especial a su director el doctor Marcelo Castro, por permitirnos el estudio de estos revestimientos murales, y a M<sup>a</sup> de la Paz López, restauradora, por la información que nos ha facilitado. Igualmente damos las gracias

al Dr. Julio Navarro Palazón por proporcionarnos diversos fragmentos de yeserías procedentes del Alcázar de Guadalajara para su investigación.

De la misma manera tenemos que destacar el apoyo del Departamento de Microbiología de la Universidad de Granada, y concretamente el de la doctora Fadwua Jroundi por proporcionarnos la solución nutritiva de la carbonatogénesis bacteriana y asesorarnos durante este trabajo. También agradecemos la colaboración de la doctora Isabel Guerra Tshchuschke, quien ha realizado los análisis mediante HRSEM en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

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).

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

BECERRA LUNA, J. (2015): “Estudio comparativo entre consolidación por carbonatogénesis bacteriana y nanopartículas de hidróxido de calcio en materiales pétreos”, *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 17.

BORGIOLO, L.; CREMONESI, P. (2005): *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*, Saonara. Il prato.

BUENO VARGAS, J.; GARCÍA BUENO, A.; HERNÁNDEZ PABLOS, A.; MEDINA FLÓREZ, V. (2006): “Las yeserías nazaríes del mihrab de la mezquita de Fiñana (Almería)”, *16 th International Meeting on Heritage Conservation. Preprints of the Papers to the Valencia Congress*, Valencia, 1627-1647.

CALERO CASTILLO, A. I.; LÓPEZ MARTÍNEZ, T.; GARCÍA BUENO, A.; GONZÁLEZ MUÑOZ, M. T.;

- MEDINA FLÓREZ, V. J. (2016): "Ensayos de consolidación en los revestimientos murales del Conjunto Arqueológico de Castulo. (Linares, Jaén)", *Ge-Conservación*, 10, 31 - 43.
- CASTILLA, D. J. (2011): "Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas", *Informes de la construcción*, 63, 523, 143-152.
- CONTRERAS DE LA PAZ, R. (1967): "La cuestión del nombre", *Oretania*, 9, 25-27.
- CONSTÂNCIO, C.; FRANCO, L.; RUSSO, A.; ANJINHO, C.; PIRES, J.; FÁTINA VAZ, M.; CARVALHO, A. P. (2010): "Studies on Polymeric Conservation Treatments of Ceramic Tiles with Paraloid B-72 and Two Alkoxysilanes", *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 2833-2839.
- DAL MONTE, R. (1998): "Morteros de consolidación para revestimientos pintados. La línea PLM. Un nuevo silicato de etilo para pintura mural: Bioestel", en BARCELÓ ENCINAS, J. (Ed.), *Actas del Seminario Internacional sobre la Consolidación de pinturas murales. Aguilar del Campoo*, Valencia, 75-95.
- FAMIGLIETTI, L.; SCIOSCIA SANTORO, C. (2001): "La tecnica dello stucco attraverso le fonti: tecnica d'esecuzione e caratterizzazione chimico-fisica dei materiali costitutivi", en BISCONTIN, G.; DRIUSSI, G. (Eds), *Lo stucco. Cultura, Tecnologia, Conoscenza*, Edizione Arcadia Ricerche, Bressanone, 19-26
- FATÁS, G.; BORRÁS, G. (1998): *Diccionario de Términos de Arte y elementos de Arqueología. Heráldica y numismática*, Alianza Editorial, Madrid.
- GARCÍA BUENO, A.; HERNÁNDEZ PABLOS, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J. (2010): "Las yeserías del Oratorio de la Madraza de Yusuf I, Granada. Aportaciones de la documentación gráfica a la determinación de zonas originales y añadidos en el estudio preliminar", *Al-Qantara*, 31, 257-267.
- GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J. (2004): "The Nasrid plasterwork at "qubba Dar al- Manjara IKubra" in Granada: characterisation of materials and techniques", *Journal of Cultural Heritage*, 5, 75-89.
- GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; HERNÁNDEZ PABLOS, A. (2005): "Intervención de urgencia en una casa musulmana de la calle San Buenaventura nº 2, Albaizyn, Granada", *Actas del II Congreso del Grupo Español del IIC. Investigación y conservación*, Barcelona, 359-367.
- GONZÁLEZ-MUÑOZ, M. T.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; JIMÉNEZ-LÓPEZ, C., RODRÍGUEZ-GALLEGO, M. (2008): "Método y producto para la protección y consolidación de materiales de construcción y ornamentales", Patente P200602030 (WO 2008/009771).
- GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.; JROUNDI, F.; GARCÍA BUENO, A.; MARTÍN PEINADO, B.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. (2015): "Bioconsolidación de materiales pétreos y ornamentales mediante carbonatogénesis bacteriana", *La ciencia y el arte V. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, Madrid, 71- 80.
- GUASCH FERRÉ, N. (2016): *Optimización de métodos multitécnica para la caracterización de componentes orgánicos y morteros de cal tradicionales de la antigüedad. Desarrollo de metodologías experimentales para su conservación y restauración*, Tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- GUIRAL PELEGRIN, C.; MARTÍN-BUENO, M. (1996): *Bilbilis I. Decoración pictórica y estucos ornamentales*, Institución Fernando el Católico, Zaragoza.
- GUIRAL PELEGRIN, C. (2000): "Aspectos técnicos de la pintura mural romana: breves consideraciones", *La mantería. Revista de la escuela taller*, 2, 62-70.
- HANSEN, E.; DOEHNE, E.; FIDLER, J.; LARSON, J.; MARTIN, B.; MATTEINI, M.; TEUTONICO, J. M. (2003): "A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials", *Studies in Conservation*, 48 (sup1), 13-25.

- HORIE, C. V. (2010): *Materials for conservation: organic consolidants, adhesives and coatings*. Routledge.
- JROUNDI, F.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.; GARCIA BUENO, A.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. (2014): "Consolidation of archeological gypsum plaster by bacterial biomineralization of calcium carbonate"; *Acta Biomaterialia*, 10, 3844-3854.
- JROUNDI, F.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; GARCÍA BUENO, A.; MEDINA FLÓREZ, V. J.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, M. (2011): "Consolidación de materiales arqueológicos procedentes del Alcázar de Guadalajara", en LÓPEZ M.; COLLADO, M.; MEDINA, F.; ESPEJO, A.; GARCÍA, B. (Eds.), *Actas del XVIII Congreso Internacional. Conservación y restauración de Bienes Culturales*, Granada, 125-127.
- LACAYO TOMÁS, E. (2002): "Factores de alteración in situ: Conservación preventiva del material arqueológico", en LAPORTE, J. P.; ESCOBEDO, H.; ARROYO, B. (Eds.), *XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala, 453-457.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, T. (2015): "Las pinturas murales del Conjunto Arqueológico de Cástulo. Problemática de conservación y metodología de intervención", *Arqueología y territorio*, 12, 165-175.
- LÓPEZ ORTEGA, T. (1999): *Evaluación de los tratamientos de conservación efectuados en los mascarones de estuco de Kohunlich*, Distrito Federal. Quintana Roo, México.
- NAVARRO PALAZÓN, J. (2007): "El Alcázar Real de Guadalajara. Un nuevo capítulo de la arquitectura bajomedieval española", *Arqueología de Castilla la Mancha. I Jornadas*, Cuenca, 586-613.
- PANELLA, E.; GIOVANNONE, C.; BARTOLINI, M.; FONTI, V. (2017): "Use of biotechnology in the conservation field: removal of sulphates on wall paintings with sulphate-reducing bacteria and bioconsolidation of wall paintings and stuccos", *Green Conservation of Cultural Heritage*, Palermo.
- PARRA, E. (1998): "Técnicas de consolidación en pintura mural", en BARBERÓ ENCINAS, J. (Ed.), *Actas del Seminario Internacional sobre la Consolidación de pinturas murales. Aguilar del Campo*, Valencia, 11-31.
- PERIS VICENTE, J. (2007): *Estudio analítico de materiales empleados en barnices, aglutinantes y consolidantes en obras de arte mediante métodos cromatográficos y espectrométricos*, Tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- PRADILLO; ESTEBAN, P. (2000): "Yeserías mudéjares en el Real Alcázar de Guadalajara", *Goya*, 276, 131-139.
- RODRÍGUEZ, M. P.; SERRANO LARA, L.; EXPÓSITO MANGAS, D. (2017): "Creación de la malla en el conjunto arqueológico de Cástulo: de la disciplina al vector", *Revista Otarq: Otras arqueologías*, 1, 249-266.
- RUBIO DOMENE, R. (2006): "El material de yeso: comportamiento y conservación", *Cuadernos de restauración*, 6, 57-68.
- (2010): *Yeserías de la Alhambra. Técnica y conservación*. Universidad de Granada (En coedición con el Patronato de la Alhambra y Generalife. Consejería de Cultura). Granada
- SICKELS, L. (1982): "Organics vs. synthetics: their use as additives in mortars", *Mortars, cement and grouts used in the conservation of historic buildings. Symposium*, Rome, 25-52.
- VILLEGAS SÁNCHEZ, R. (2007): "Consolidantes e hidrófugos. Productos para el tratamiento de materiales pétreos", *Jornada técnica sobre tratamientos de conservación aplicados a materiales pétreos en construcciones históricas*, Cáceres, 35-48.
- ZENDRI, E.; BISCONTIN, G.; NARDINI, I.; RIATO, S. (2007): "Characterization and reactivity of silicatic consolidants", *Construction and Building Materials*, 21(5), 1098-1106.



**Diputación** de Córdoba



**UCOPress**

---

Editorial Universidad  
de Córdoba