

Ensayos de consolidación en pintura mural arqueológica: comparación de tratamientos en función de la técnica de ejecución

Ensaaios de consolidação em pintura mural arqueológica: comparação de tratamentos em função da técnica de execução

Consolidation tests in archaeological wall painting: comparing treatments depending on the painting technique

TERESA

LÓPEZ-MARTÍNEZ * 

FRANCISCO JOSÉ

COLLADO-MONTERO 

ANA GARCÍA-BUENO 

1. Departamento de Pintura,
Facultad de Bellas Artes Alonso
Cano, Universidad de Granada,
Avenida de Andalucía S/N, C.P.:
18071, Granada, España

* tlopez@ugr.es

Resumen

Para la pintura mural de procedencia arqueológica, la consolidación resulta un tratamiento de gran importancia debido al estado de conservación que suele presentar, en el que la descohesión del mortero y la pulverulencia de la capa pictórica son habituales. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar los ensayos de consolidación que se han efectuado sobre fragmentos descontextualizados pertenecientes a cinco revestimientos murales distintos (procedentes de diversas épocas y que presentan diferencias notorias tanto en su estado de conservación como en su técnica de ejecución). Para ello, se han comparado dos de los tratamientos más empleados en consolidación de revestimientos arqueológicos, como son una resina acrílica y silicato de etilo, con dos tratamientos de reciente incorporación al mercado y que emplean nanopartículas, como nanocales y nano silicato de etilo, junto con un tratamiento de bioconsolidación empleado, hasta el momento, principalmente para la consolidación de material pétreo: la carbonatogénesis bacteriana.

Resumo

Para a pintura mural de procedência arqueológica, a consolidação é um tratamento de grande importância devido ao estado de conservação que as pinturas costumam apresentar, no qual a falta de coesão da argamassa e a pulverização da camada pictórica são comuns. O objetivo deste trabalho foi avaliar ensaios de consolidação que foram realizados em fragmentos descontextualizados pertencentes a cinco revestimentos de murais distintos (procedentes de diferentes épocas e que possuem diferenças notórias quanto ao seu estado de conservação e quanto à sua técnica de execução). Para isso, compararam-se dois dos tratamentos mais utilizados na consolidação de revestimentos arqueológicos, uma resina acrílica e um silicato de etilo, com dois tratamentos que foram recentemente incorporados no mercado e que utilizam nanopartículas, como nano-cal e de nano-silicato de etilo, juntamente com um tratamento de bioconsolidação utilizado, até ao presente, principalmente para a consolidação de material pétreo: precipitação de carbonato de cálcio bioinduzido.

Abstract

Consolidation is a treatment of great importance for archaeological wall paintings due to their state of preservation, in which the lack of cohesion of the mortar and the pulverulence of the pictorial layer are common. The objective of this work has been to evaluate consolidation tests that have been carried out on decontextualized fragments belonging to five different wall paintings (from different periods and with differences in their state of conservation and in their painting techniques). For this, two of the most used treatments in consolidation of archaeological coatings, such as an acrylic resin and ethyl silicate, have been compared with two treatments that use nanoparticles, such as nanolimes and nano ethyl silicate, together with a bioconsolidation treatment used until present mainly for the consolidation of stone material: bacterial carbonatogenesis.

PALABRAS CLAVE

Pintura mural
Consolidación
Resina acrílica
Silicato de etilo
Nanocales
Carbonatogénesis
bacteriana

PALAVRAS-CHAVE

Pintura mural
Consolidação
Resina acrílica
Silicato de etilo
Nano-cal
Carbonato de cálcio
bioinduzido

KEYWORDS

Wall painting
Consolidation
Acrylic resin
Ethyl silicate
Nanolime
Bacterial
carbonatogenesis

Introducción

El trabajo que aquí se expone responde a la problemática de conservación e intervención que presentan las pinturas murales de procedencia arqueológica. Dichas obras han permanecido durante siglos en unas condiciones adversas pero invariables y, por tanto, se ha establecido un equilibrio en ellas que se ve interrumpido en el momento de su extracción; con la ruptura de dicho equilibrio se originan procesos de alteración que provocan el aceleramiento de su deterioro, el cual se traduce, sobre todo, en descohesión del mortero y pulverulencia de la capa pictórica.

Es por ello que, si bien existen otros tratamientos importantes que forman parte de la intervención de una pintura mural, como por ejemplo, las reintegraciones matérica y cromática o la limpieza, en el caso concreto de la restauración de revestimientos de procedencia arqueológica los tratamientos de consolidación adquieren una primordial relevancia.

Los tratamientos de consolidación, además, plantean una problemática específica, tanto en las intervenciones de urgencia como en otras definitivas. Por ejemplo, en el caso de las resinas acrílicas, habitualmente empleadas, se presentan considerables inconvenientes, sobre todo por la pérdida de permeabilidad de la superficie pictórica y por el cambio que ocasionan en su índice de refracción, lo que se traduce en reducción de porosidad y modificación del color [1]. Estas cuestiones exigen la realización de pruebas y ensayos para hacer una elección adecuada tanto del consolidante como del disolvente empleado para su disolución y, también, del proceso de aplicación.

Por ello, se han realizado ensayos de consolidación en fragmentos descontextualizados pertenecientes a cinco revestimientos murales distintos. Los objetivos de este trabajo han sido los siguientes: 1) valorar de forma objetiva los posibles tratamientos a emplear y seleccionar aquellos que pueden considerarse más adecuados y compatibles con los materiales originales; 2) comprobar el grado de eficacia de los tratamientos seleccionados; 3) confrontar el efecto de los mismos para poder establecer una valoración definitiva con plenas garantías tanto en la elección de productos consolidantes como en la de procedimiento de aplicación.

Metodología

En trabajos de este tipo es necesario emplear una metodología específica, orientada a la consecución de los objetivos anteriormente mencionados. Su aplicación rigurosa resulta imprescindible para que sea posible establecer conclusiones seguras y fiables.

Revisión bibliográfica

En primer lugar se ha realizado una extensa revisión bibliográfica que ha abarcado tanto manuales clásicos y de referencia en el ámbito de la restauración de pintura mural [2] como actas de congresos nacionales e internacionales [3-5] así como

artículos científicos que recogen las últimas investigaciones realizadas en este campo.

Con ella, se ha buscado escoger los tratamientos más adecuados a emplear así como analizar los distintos procedimientos de aplicación y los diferentes métodos para la evaluación objetiva de los ensayos.

Selección de casos de estudio

Para la realización de estos ensayos de tratamiento se han escogido fragmentos descontextualizados pertenecientes a revestimientos murales pintados de procedencia arqueológica. Dichos fragmentos tienen unas dimensiones reducidas, que oscilan entre 7 × 5 cm del fragmento más grande a 4 × 2 cm del fragmento más pequeño y un grosor que varía entre 2 y 5 cm. Proviene de dos provincias que pertenecen a un contexto geográfico próximo: Jaén (Conjunto Arqueológico de Cástulo) y Córdoba (capital), ambas en Andalucía (España). Su cronología, además, abarca diferentes épocas: romana, tardoantigua, emiral y califal.

La realización de estos ensayos sobre material original en lugar de sobre probetas (en las que se reproducen materiales y procedimientos técnicos) presenta ciertos inconvenientes, sin embargo tiene ventajas muy significativas, circunstancia por la que se optó finalmente por elegir este tipo de muestras. En este sentido, el envejecimiento y deterioro que sufren los fragmentos originales es heterogéneo ya que, a pesar de encontrarse en una misma excavación, las condiciones de conservación pueden variar bastante; esto supone un inconveniente al realizar un análisis cuantitativo de manera sencilla, debido a que cada fragmento puede presentar diferencias con respecto al otro, aun perteneciendo al mismo revestimiento mural. Por el contrario, aunque las probetas sometidas a procesos de envejecimiento acelerado muestren un deterioro más homogéneo, ofrecen resultados que poco tienen que ver con los que presenta el material real, por lo que la información obtenida será orientativa y, desde luego, menos fiable que la proporcionada por muestras originales. Por ello se ha decidido la evaluación de los distintos ensayos sobre material original descontextualizado, permitiendo ensayar una metodología de trabajo en la que se prevén unos resultados muy similares a los que se obtendrían en obras reales de las mismas características [6].

Elección y aplicación de los tratamientos a emplear

En función de la bibliografía consultada, de la investigación previa de nuestro equipo y de las características del material se han escogido cinco tratamientos de consolidación para evaluar.

Es importante aclarar previamente que, dada la amplitud de significados que presenta el término de “consolidación” [7], en este trabajo se emplea como sinónimo de tratamientos de fijación, buscando que los productos actúen como consolidante de la capa pictórica y del estrato más superficial del mortero.

Para los ensayos que aquí se presentan se han escogido cinco tratamientos: resina acrílica y silicato de etilo [1], ambos de amplia tradición en consolidación de material arqueológico, un tratamiento experimental de bioconsolidación, la

carbonatogénesis bacteriana [8], y dos productos de reciente incorporación al mercado, que emplean nanopartículas, como son las nanocales y el nanosilicato de etilo [9-10]. Estos tratamientos han sido aplicados tras realizar una limpieza mecánica a todos los fragmentos, con el objetivo de eliminar los depósitos terrosos y las concreciones que ocultaban la capa pictórica. A continuación se indican las características de los consolidantes empleados y su modo de aplicación; tanto éste como el porcentaje del producto empleado se han establecido en función de lo recomendado por el fabricante así como por lo indicado en la literatura consultada:

- Resina acrílica: se ha empleado Paraloid B72, resina acrílica al 100 % a base de etil-metacrilato, distribuido por la casa comercial CTS. Se ha extendido por impregnación con pincel de pelo suave, interponiendo papel japonés sobre la capa pictórica para protegerla, realizando una aplicación al día, durante tres días consecutivos. La resina ha sido preparada al 5 % en una dilución de TACO 8, una mezcla de disolventes de volatilidad media compuesta por alcohol isopropílico, octano y acetona en una concentración de 45 %, 32 % y 23 %, respectivamente, ideada por los profesores Maurizio Coladonato y Fabio Talarico, del Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR) de Roma, como sustituto menos tóxico a disolventes orgánicos como el tolueno o el nitrocelulósico [11];
- Silicato de etilo: se ha empleado Estel 1000, silicato de etilo con una viscosidad de 10 cp. a 25 °C y con un contenido en materia activa del 75 %. Lo comercializa igualmente la empresa CTS, preparado directamente en solución en White Spirit D40. El método de aplicación ha sido igual que el anterior aunque, en este caso, el producto ha sido empleado al 100 % de su concentración;
- Nanocales: se ha utilizado Nanorestore, un consolidante superficial a base de hidróxido de calcio nanofásico en dispersión con alcohol isopropílico, distribuido también por la empresa CTS. Se ha aplicado con una concentración del 25 % en una mezcla de alcohol isopropílico y agua destilada, en proporción 1:1 y, en este caso, por nebulización. Se ha realizado una aplicación al día durante seis días consecutivos;
- Nanosilicato de etilo: se ha empleado Nano Estel, una dispersión acuosa coloidal de sílice de dimensiones nanométricas, también comercializado por la empresa CTS. Ha sido aplicado diluido al 10 % en agua destilada mediante impregnación por pincel, protegiendo la capa pictórica con papel japonés y realizando, al igual que en los casos anteriores, una aplicación diaria durante tres días consecutivos;
- Bioconsolidación: se ha utilizado la carbonatogénesis bacteriana, tratamiento desarrollado por el Departamento de Microbiología de la Universidad de Granada y que se basa en la formación de minerales mediante un proceso biológico. Para ello, se ha aplicado una solución nutritiva M-3P [12], responsable de la activación de la microbiota presente en los morteros históricos. En este caso, el tratamiento se ha ensayado sobre dos fragmentos pertenecientes a cada tipo de revestimiento: en ambos se ha aplicado por nebulización,

realizando tres aplicaciones al día hasta saturación de la capa pictórica durante siete días consecutivos; además, en uno de ellos, buscando focalizar más la acción del consolidante en la policromía para propiciar su fijación, se ha aplicado, una semana después, un *impacco* de pulpa de celulosa impregnado en solución nutritiva sobre la capa pictórica durante dos horas, interponiendo igualmente papel japonés para su protección y para facilitar la retirada del *impacco*.

De este modo, cada tratamiento ha sido aplicado en un fragmento correspondiente a uno de los cinco revestimientos estudiados, obteniéndose cinco series (una por cada pintura mural) con siete fragmentos cada uno (uno por cada tratamiento aplicado y un séptimo que se ha dejado como testigo sin tratar).

Evaluación de los tratamientos

Una vez aplicados los tratamientos, se ha procedido a la evaluación de los mismos mediante métodos descritos a continuación. Existen numerosos métodos para la evaluación de tratamientos de consolidación (resistencia a la abrasión, pruebas de envejecimiento, resistencia a la perforación, etc.); sin embargo, muchos de ellos no son idóneos para el caso que aquí se propone debido a las características y limitaciones de las muestras utilizadas. Así, por ejemplo, el ensayo de permeabilidad al vapor de agua, no se ha podido realizar por el tamaño irregular que presentaban los fragmentos, mientras que el de resistencia a la perforación con DRMS (*drilling-resistance measurements*) resulta inviable por las dimensiones de los mismos, cuya superficie resulta insuficiente en muchos de los casos.

Documentación fotográfica

Uno de los aspectos básicos que se deben evaluar es la posible modificación de las características estéticas que el tratamiento puede ocasionar. Para ello se ha llevado a cabo una extensa documentación fotográfica de todos los fragmentos durante las distintas fases del ensayo, prestando especial atención en documentar el estado inicial y el estado final de cada fragmento.

Para el correcto registro fotográfico que posteriormente permitiera la comparación de las diferentes tomas fotográficas, toda la documentación se ha llevado a cabo colocando junto a los fragmentos una escala y una carta de color y empleando las mismas condiciones de iluminación. Para ello se ha utilizado una cámara fotográfica Nikon D5300 con pantalla abatible y un objetivo AF-S Nikkor 18-105 mm con VR y una mesa de reproducción.

Test de solubilidad

Las pruebas de solubilidad suponen un examen básico ante cualquier intervención de restauración [13]. Es por ello que se ha empleado para la comprobación del efecto consolidante de los distintos tratamientos aplicados.

Para ello, se ha frotado un hisopo de algodón humedecido en agua destilada sobre la superficie pictórica de cada fragmento, realizando siempre tres rotaciones sobre la misma zona. Los resultados obtenidos han sido documentados fotográficamente

posicionando cada hisopo sobre un fondo de tono neutro y empleando las mismas condiciones anteriormente detalladas.

Al confrontar los hisopos procedentes de cada fragmento consolidado con el correspondiente a la prueba de solubilidad realizada al fragmento testigo de cada serie ha sido posible comprobar el efecto consolidante de cada tratamiento; en este sentido, los hisopos que resultan manchados tras la prueba de solubilidad corroboran que el tratamiento de consolidación no ha sido suficientemente efectivo en ese caso.

Ensayos de absorción de agua por capilaridad

Otro de los métodos de evaluación seguidos ha sido la realización de un ensayo de absorción de agua por capilaridad normalizado (UNE-EN 15801) [14]. Éste se ha visto nuevamente condicionado por la heterogeneidad de las dimensiones de los fragmentos empleados en el ensayo, por lo que ha sido necesario, en primer lugar, calcular la superficie pictórica de cada uno de ellos. Una vez obtenido ese dato, los fragmentos han sido precondicionados en un desecador durante 24 horas antes de la realización del ensayo.

Para la evaluación se ha posicionado en el fondo de un recipiente hermético de metacrilato un lecho permeable seco de papel de 4 cm de espesor y se ha añadido agua destilada hasta la saturación del mismo; se ha prestado especial atención a que el nivel de agua no alcanzase la superficie superior del lecho y a que se mantuviese constante durante todo el ensayo. Se ha realizado una pesada inicial de cada fragmento (mo) y se han colocado en el recipiente, sobre el lecho permeable, con la capa pictórica hacia abajo, poniendo simultáneamente un cronómetro en marcha. Para medir la absorción de agua, pasado el tiempo estipulado, se ha sacado cada fragmento del medio, se ha eliminado toda el agua adherida a su superficie tamponando con un papel secante humedecido y se ha pesado; los intervalos de tiempo estipulados para ello han sido 5, 10, 30 y 60 minutos. Tras el ensayo, los fragmentos se han dejado secar en una estufa a 50 °C durante 1 hora.

Finalmente, los datos obtenidos han sido representados, tal y como indica la norma, en una curva de absorción de agua por capilaridad, indicando la cantidad de agua absorbida por cada fragmento por unidad de superficie (kg/m^2) en función de la raíz cuadrada del tiempo ($t^{1/2}$).

Evaluación textural y elemental mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución

Se ha realizado un análisis pormenorizado tanto textural y estructural como elemental de muestras procedentes de los distintos fragmentos mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución (HRSEM). Con este análisis se ha perseguido obtener datos precisos de la distribución de los consolidantes sobre las muestras tratadas, tanto en superficie como en profundidad, detectando diferencias entre las muestras consolidadas y las muestras testigo sin consolidar (porosidad, cambios de composición, grado de penetración del consolidante, etc), así como posibles alteraciones o particularidades

de los tratamientos, tales como la morfología de la película que forman y sus características.

Para ello se ha empleado un microscopio electrónico de barrido de presión variable de alta resolución Zeiss SUPRA 40VP, equipado con sistema de microanálisis por energía dispersiva de rayos X (EDX) con detector de gran superficie X-Max 50 mm, mediante el que se han obtenido dos tipos de imágenes: 1) una mediante electrones secundarios (SE) que ofrece información topográfica de la superficie, resultando una imagen de mayor contraste y detalle; 2) otra obtenida mediante la detección de electrones retrodispersados (BSE) que ofrece información composicional de la muestra mediante una imagen plana en blanco y negro donde las zonas más claras son las que presentan elementos con mayor número atómico.

Se han tomado micromuestras de cada uno de los fragmentos empleados en el ensayo y han sido preparadas en un portamuestras con la ayuda del microscopio estereoscópico. Cada micromuestra se ha dividido en dos mitades, que han sido colocadas en un mismo soporte, uno en posición horizontal y otro en posición vertical, de forma que fuese posible analizar tanto la capa pictórica como el perfil del corte (Figura 1). Una vez montadas, y antes de ser metalizadas con carbono, las muestras han sido fotografiadas mediante microscopía estereoscópica para así disponer de una referencia visual en color de cada una de ellas, que permitiera, posteriormente, localizar exactamente la zona a estudiar en cada momento.

Se ha seguido una metodología de estudio similar en cada una de las muestras, que ha consistido, en primer lugar, en la obtención de imágenes de diferente resolución de la superficie de la muestra estudiada ($100\times$, $500\times$, $1500\times$, $5000\times$, $15000\times$); aquellas zonas que se consideraban de mayor interés o que podrían aportar información relevante también han sido fotografiadas empleando aumentos distintos y variando según las características de la muestra entre tomar la fotografía a 5 kV o 20 kV. En segundo lugar, se han realizado análisis elementales tanto en la superficie como en el perfil de la muestra, y se han efectuado algunos mapas de distribución de elementos, bajo las siguientes condiciones: 510 píxeles, *binning factor*, resolución 1024 píxeles, 34 frames, 20 kV, 100 microsegundos, 13,6 *duel time*.



Figura 1. Preparación de muestras para el análisis mediante HRSEM.

Análisis de las variaciones del color de la capa pictórica

El último aspecto a evaluar han sido los cambios de color que cada tratamiento ha ocasionado en la capa pictórica. Para ello, se han realizado cuatro medidas de color en cada uno de los fragmentos, en dos momentos distintos: antes y después de la aplicación del consolidante.

Las mediciones se han realizado con un espectrofotómetro Konica-Minolta CM-2600d, con las siguientes condiciones de medición: geometría de iluminación difusa y detección a 8°, componente especular excluida (SCE), área de apertura del instrumento de 3 mm, opción de iluminación con UV 0 %, iluminación estándar CIE D65 y observador colorimétrico estándar CIE 1964. La gestión de los datos se ha efectuado con el programa Spectramagic NX Pro Color Data, proporcionado por Konica Minolta y la calibración del instrumento se ha llevado a cabo usando la placa de calibración blanca CM-A145, para el máximo de claridad, y la caja de calibración del cero CM-A32, para el mínimo de claridad, proporcionadas por el fabricante del espectrofotómetro.

Empleando el espacio de color CIELAB, definido por la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) en 1976, se han analizado tanto la variabilidad del color de las muestras medidas como las diferencias de color registradas tras la aplicación del tratamiento. En primer lugar, se ha calculado el valor denominado "diferencia de color promedio respecto del promedio" (*Mean Color Difference from the Mean, MCDM*) en unidades CIELAB según la ecuación de Berns [15]. En segundo lugar, se ha calculado la diferencia de color siguiendo la fórmula CIELAB $\Delta E^*_{ab,10}$. Si bien la fórmula de diferencia de color CIEDE 2000 (ISO/CIE 116-6:2014) es actualmente la recomendada por la ISO y por la CIE para determinadas condiciones de referencia, en este caso, al no cumplirse todas las condiciones requeridas se ha considerado oportuno emplear la fórmula de diferencia de color CIELAB que es, por otro lado, la más difundida en el campo de la investigación del patrimonio cultural [16-17].

Una vez efectuado los cálculos y gestionados los datos, los resultados se han representado en gráficas para facilitar su comparación y discusión.

Casos de estudio

Como se ha indicado en la metodología, para la realización de los ensayos de consolidación se han escogido fragmentos

procedentes de cinco revestimientos murales (Figura 2); éstos presentan cronología diversa y características propias, lo que ha permitido evaluar el comportamiento de cada tratamiento no solo de manera individualizada sino, también, en comparación con los aspectos comunes que presenta cada pintura mural.

Revestimientos empleados en los ensayos

Los dos primeros revestimientos escogidos para este ensayo proceden del conjunto arqueológico de Cástulo, en la provincia de Jaén; en este trabajo se han empleado fragmentos descontextualizados, pero se conserva gran cantidad de pintura *in situ*, por lo que la información disponible de los revestimientos es muy amplia, tanto en lo que respecta a los materiales como a la estructura y condiciones de conservación. Asimismo, se han escogido tres pinturas murales de la ciudad de Córdoba; en este caso sólo se ha tenido acceso a fragmentos descontextualizados (a diferencia de los revestimientos castulonenes que formaban parte de otro estudio desarrollado por el grupo de investigación y del que, como se acaba de mencionar, se tenía acceso al conjunto de los revestimientos), por lo que la caracterización de materiales y técnica de ejecución de los revestimientos procedentes de Córdoba se limita a los fragmentos empleados en el ensayo.

Pinturas murales de época romana de Cástulo (CR)

El primero de los revestimientos escogidos corresponde a la decoración parietal de la Sala del Mosaico de los Amores del conjunto arqueológico de Cástulo (Linares, Jaén); unas pinturas de época romana datadas a finales del siglo I EC [18-19]. Presentan cuatro estratos de mortero de cal, cuyo árido está constituido por cuarzo, dolomita, feldespato potásico, plagioclasas y moscovita, como es habitual su grosor y la granulometría del árido disminuyen conforme se acercan a la superficie. Están ejecutadas al fresco, con algunas zonas que posiblemente hayan sido realizadas al seco aunque concretamente las de estas muestras no lo son ya que corresponden al fondo de la pintura, y siguiendo la técnica de las *politiones*, el espatulado de la superficie que favorece una mayor carbonatación y proporciona un aspecto brillante y pulido a la capa pictórica [18].

Pinturas murales de época tardoantigua de Cástulo (TA)

El segundo de los revestimientos escogidos corresponde a unas pinturas murales datadas a mediados del siglo IV EC que decoran un patio interior de un edificio paleocristiano



Figura 2. Ejemplo de fragmentos empleados en los ensayos de consolidación procedentes de los distintos revestimientos murales seleccionados (CR – Romanas, Cástulo; TA – Tardoantiguas, Cástulo; PIT – Romanas, Córdoba; MIR – Emirales, Córdoba; HRS – Califales, Córdoba).

procedente, también, del conjunto arqueológico de Cástulo [20]. A diferencia de las pinturas de época romana, éstas presentan un solo estrato de mortero, y por tanto con un espesor total del soporte que disminuye considerablemente; la composición mineralógica es la misma, aunque varía la proporción de cada tipo de árido. Están igualmente ejecutadas al fresco empleando una paleta romana de una gama cromática más reducida. En este caso la superficie no se presenta espatulada.

Pinturas murales de época romana de Córdoba (PIT)

Los fragmentos más antiguos de Córdoba proceden de la excavación arqueológica de Parque Infantil de Tráfico [21] y presentan tres estratos de mortero, también de cal y con un árido compuesto por cuarzo, dolomita, feldespato potásico, plagioclasas y moscovita. Los pigmentos identificados son igualmente los de la paleta romana. Asimismo, han sido ejecutadas al fresco siguiendo la técnica de las *politiones*, por lo que la superficie también se presenta pulida.

Pinturas murales de época emiral de Córdoba (MIR)

Se han realizado los ensayos sobre fragmentos pertenecientes a revestimientos de época emiral procedentes de la excavación de Miraflores, en la localidad de Córdoba, datados en el siglo VIII EC [22]. En este caso presentan un solo estrato de mortero compuesto, como en los casos anteriores, por calcita, cuarzo, dolomita, feldespato potásico, plagioclasas y moscovita, aunque en este caso la proporción de calcita es mucho mayor con respecto al resto de los áridos. Se han identificado pigmentos ya reconocidos en los revestimientos anteriores aplicados siguiendo la técnica al fresco. Como ocurría en las pinturas tardoantiguas, la superficie no ha sido espatulada.

Pinturas murales de época califal de Córdoba (HRS)

Por último, se seleccionaron revestimientos de época califal procedentes de la excavación de Hospital Reina Sofía (Córdoba) datados en el siglo X EC [23]. Estos revestimientos presentan también un solo estrato de mortero, aunque su composición varía en este caso, reduciéndose el árido úni-

camente a la presencia de calcita y cuarzo. Igualmente, han sido ejecutadas al fresco empleando para ello un único pigmento, el rojo de hierro o hematites. En este caso, también fue espatulada la superficie.

Estado de conservación

Para la correcta evaluación de los tratamientos de consolidación es necesario determinar el estado de conservación de cada uno de los revestimientos que se van a tratar; en este caso, es semejante en todos los fragmentos, aunque presentan algunas peculiaridades.

En todos los casos destacan dos alteraciones principales, el estado pulverulento de la capa pictórica y la descohesión del mortero, aunque el grado de alteración de los mismos varía. En este sentido se puede indicar, en primer lugar, que el deterioro de la capa pictórica resulta más acusado en los revestimientos de época tardoantigua y emiral (TA y MIR), habiéndose perdido en ocasiones casi la totalidad del pigmento; en segundo lugar, que los revestimientos romanos de Cástulo y los de época califal son los que inicialmente muestran una mayor pulverulencia de la capa pictórica (CR y HRS); y, finalmente, que los revestimientos tardoantiguos son los que presentan un mayor grado de fragmentación del soporte (TA). Asimismo, es necesario señalar que las condiciones de humedad y temperatura en las que se encontraban almacenados los revestimientos de Córdoba eran muy extremas y, por tanto, más desfavorables que las condiciones en las que se hallaban las pinturas castulonenses.

Resultados

Como se ha indicado en la metodología, cada tratamiento ha sido aplicado sobre un fragmento perteneciente a cada uno de los revestimientos indicados, dando lugar a cinco series de siete fragmentos cada una (Tabla 1). Se han realizado dos valoraciones según cada método de evaluación: por un lado, se ha comparado el comportamiento general de los fragmentos que pertenecen a cada revestimiento y, por otro, se ha evaluado cada tratamiento en sí mismo.

Tabla 1. Fragmentos empleados en los ensayos de consolidación y tratamiento aplicado a cada uno de ellos.

Tratamiento	Cástulo		Córdoba		
	Romanas	Tardoantiguas	Romanas	Emirales	Califales
Carbonatogénesis	CR1	TA1	PIT1	MIR1	HRS1
Carbonatogénesis + <i>impacco</i>	CR2	TA2	PIT2	MIR2	HRS2
Paraloid B72	CR3	TA3	PIT3	MIR3	HRS3
Estel 1000	CR4	TA4	PIT4	MIR4	HRS4
Nano Estel	CR5	TA5	PIT5	MIR5	HRS5
Nanorestore	CR6	TA6	PIT6	MIR6	HRS6
Testigo	CR7	TA7	PIT7	MIR7	HRS7

Documentación fotográfica

Si bien la documentación fotográfica del estado inicial y final de los fragmentos no resulta un método de evaluación objetivo en sí mismo, permite tener una primera visión global del efecto que tienen los distintos tratamientos sobre la capa pictórica. Además, ha supuesto una herramienta auxiliar fundamental para entender e interpretar algunos de los resultados obtenidos en otras evaluaciones. Es el caso, por ejemplo, del valor *MCDM* empleado en el análisis colorimétrico, que se expondrá más adelante, que mostraba una mayor homogeneidad del color de la capa pictórica tras el tratamiento de carbonatogénesis en los revestimientos de época romana castulonenés (CR) y en los de época califal (HRS); al revisar la documentación fotográfica se ha podido observar, coincidiendo con el valor de *MCDM* citado, que dichos fragmentos presentaban antes de la consolidación restos de concreciones que provocaban una mayor heterogeneidad de la apariencia de color, mientras que dichos depósitos resultaban menos evidentes tras la aplicación del tratamiento, lo que se traduce en una mayor homogeneidad cromática (Figura 3).

Test de solubilidad

En primer lugar se debe recalcar que la eficacia de esta evaluación, considerando un examen *a visu* con luz visible, depende del color de la capa pictórica. En este sentido, resultan más patentes los resultados de las pruebas realizadas sobre fragmentos de policromía roja (CR, PIT y HRS) (Figura 4); por el contrario, en los fragmentos procedentes del revestimiento emiral (MIR) los resultados no han sido concluyentes debido al color de su capa pictórica (amarillo claro y blanco).

El test de solubilidad ha evidenciado que los revestimientos de época romana de Córdoba (PIT) son los que menor pulverulencia inicial presentaban y que, por el contrario, los de época romana de Cástulo (CR) son los que manifestaban una mayor descohesión de la capa pictórica.

En cuanto a los tratamientos, los que peor resultado han dado en esta evaluación son los de bioconsolidación y las nanocales; por el contrario, los fragmentos tratados con resina acrílica y con nanosilicato de etilo son los que mejores resultados arrojan, presentando una menor pulverulencia final; en ambos casos, y según se puede ver en los análisis de HRSEM (descrito a continuación), estos tratamientos han formado un estrato superficial nuevo sobre la capa pictórica.

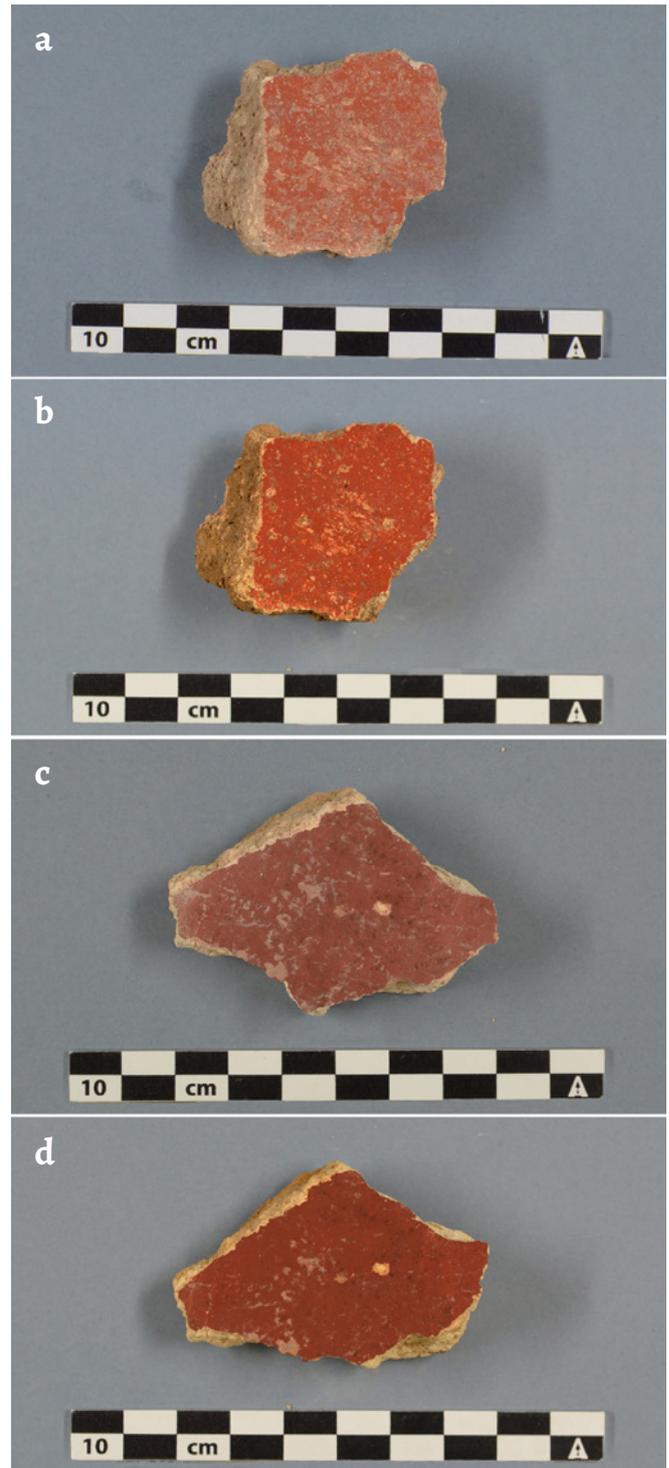


Figura 3. Fragmentos empleados en los ensayos de tratamientos: a) fragmento CR1 antes del tratamiento; b) fragmento CR1 después del tratamiento; c) fragmento HRS1 antes del tratamiento; d) fragmento HRS1 después del tratamiento.



Figura 4. Prueba de solubilidad realizada a los fragmentos procedentes del revestimiento de época romana de Cástulo (CR).

Ensayo de absorción de agua por capilaridad

Una vez realizado el ensayo de absorción, el primer aspecto que destaca es la diferencia de comportamiento entre los fragmentos procedentes de Cástulo y los de Córdoba; en general, se observa que los fragmentos castulonenes (CR y TA) absorben menos agua que los fragmentos cordobeses (PIT, MIR y HRS). Como se ha mencionado anteriormente, los fragmentos procedentes de Córdoba habían estado almacenados en unas condiciones más adversas que los de Cástulo, con unos niveles de humedad relativa bastante altos lo que ocasionó la posterior desecación en exceso de los mismos; dicha circunstancia ha podido provocar que estos revestimientos absorbiesen una mayor cantidad de agua en este ensayo. El segundo aspecto destacable es que los fragmentos de época emiral (MIR) presentan un comportamiento diferenciado frente al resto de los revestimientos, ya que en la mayoría de ellos los tratamientos han provocado disminuciones similares de la cantidad de agua absorbida.

Continuando con el análisis de los tratamientos, los fragmentos tratados con carbonatogénesis bacteriana son los que menor absorción de agua presentan; ello podría deberse a la creación de nuevos cristales de CaCO_3 que consolidan el material, haciéndolo más compacto; no se ha observado diferencia alguna entre los fragmentos tratados por nebulización y aquellos a los que se les ha aplicado posteriormente el *impacco* (Figura 5). Junto con la carbonatogénesis, los fragmentos tratados con Paraloid B72 son los que menos absorción de agua presentan; como se ha podido observar en las imágenes obtenidas mediante HRSEM, la resina acrílica forma en la superficie de la pintura una película impermeable que envuelve los granos de pigmento fijándolos entre sí, pero que dificulta la entrada de agua al interior del mortero. Por otro lado, no se observan diferencias apreciables entre el comportamiento de los fragmentos tratados con Estel 1000 y Nano Estel, aunque se documenta en la mayoría de los casos una menor absorción en los fragmentos tratados con nanosilicato (Figura 6); ello se debe, al igual que en el caso anterior, a la creación de un estrato superficial sobre la capa pictórica. Finalmente, el tratamiento con Nanorestore es el que muestra un comportamiento más irregular, siendo de los tratamientos que provocan una menor absorción de agua en los revestimientos castulonenses mientras que, por el contrario, es uno de los que más absorción muestra en los revestimientos procedentes de Córdoba.

Evaluación textural y elemental mediante HRSEM

Para la evaluación de los tratamientos mediante HRSEM se ha comenzado analizando las muestras testigo (sin tratar) procedentes de cada uno de los revestimientos. En ellas se ha podido identificar la presencia de hierro en la capa pictórica en la mayoría de los casos (CR, PIT, HRS y algunos fragmentos de TA); dado que ninguno de los tratamientos de consolidación aplicados emplea hierro en su composición, ha sido posible establecer dicho elemento como indicador de la capa pictórica.

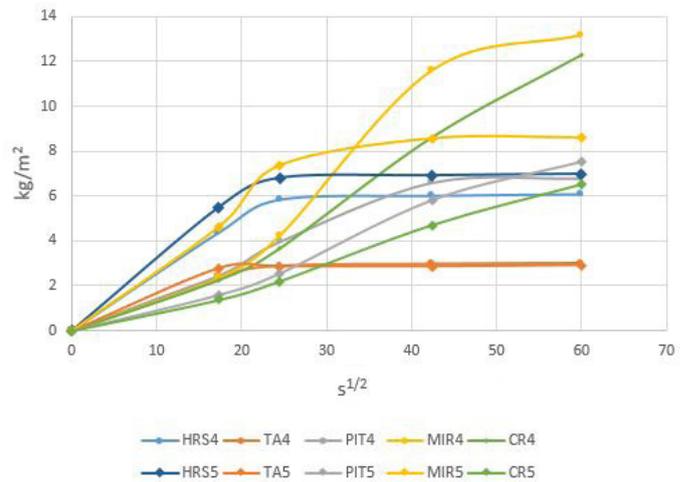


Figura 5. Resultados del ensayo de absorción por capilaridad de los fragmentos tratados con carbonatogénesis bacteriana (HRS1, TA1, PIT1, MIR1, CR1) y carbonatogénesis bacteriana con *impacco* (HRS2, TA2, PIT2, MIR2, CR2). Como se puede apreciar en la imagen no existe diferencia notable en el comportamiento de los fragmentos entre un tratamiento y el otro.

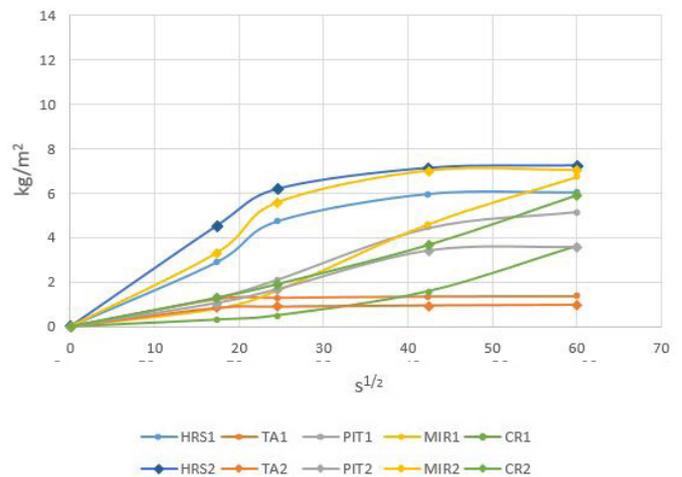


Figura 6. Resultados del ensayo de absorción por capilaridad de los fragmentos tratados con Estel 1000 (serie 4) y Nano Estel (serie 5). Tampoco se aprecian diferencias notables entre ambos tratamientos siendo en ocasiones el Nano Estel el que provoca una mayor absorción de agua (como en el caso de HRS) y, en ocasiones es el Estel 1000 el que presenta mayor absorción (como en el caso de CR).

El análisis de las muestras correspondientes a los dos tratamientos de carbonatogénesis se han podido observar dos aspectos fundamentales. En primer lugar, que la penetración del tratamiento podría alcanzar los $100 \mu\text{m}$, ya que se han documentado bacterias calcificadas e identificado fósforo, elemento componente de la solución nutritiva que se aplica en el tratamiento, a dicha profundidad. En segundo lugar, que la aplicación del tratamiento mediante nebulización e *impacco* provoca una mayor presencia de cultivo en la superficie de la capa pictórica, lo que podría traducirse en una mayor actividad de las bacterias y, por consiguiente, una mayor consolidación, tal y como se aprecia en el análisis elemental del perfil efectuado a la muestra PIT2, donde el calcio queda por encima del hierro de la capa pictórica (Figura 7).

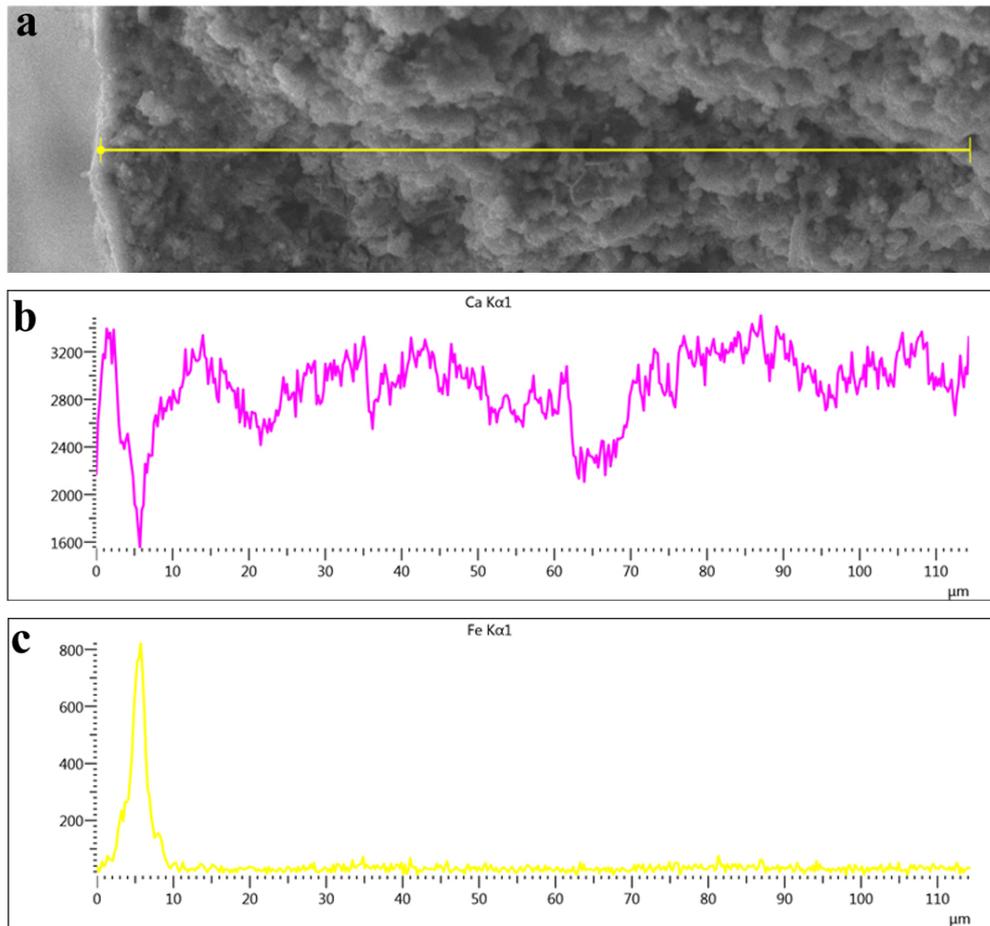


Figura 7. Análisis elemental del perfil de la muestra PIT2 consolidado con carbonatogénesis bacteriana aplicada mediante nebulización e *impacco*: a) imagen tomada mediante HRSEM de la superficie analizada, la línea amarilla corresponde a la zona donde se han tomado las medidas (line profile); b) distribución de calcio en cada uno de los puntos analizados del line profile; c) distribución de hierro en cada uno de los puntos analizados del line profile. Se aprecia una mayor presencia de calcio por encima de la capa pictórica que puede deberse a un proceso de recarbonatación en dicha zona resultado del tratamiento aplicado.

Por otro lado, en las muestras tratadas con Paraloid B72, se puede identificar la presencia de un estrato orgánico en la superficie, que recubre las partículas y que ya hemos mencionado en la evaluación del ensayo anterior (Figura 8). Dicho estrato se aprecia con mayor claridad en los revestimientos de época romana y califal, mientras que en los de época tardoantigua y emiral (TA y MIR), al ser la capa pictórica más porosa y no estar espatulada, el consolidante tiene una mejor impregnación y no queda tan en superficie.

Los tratamientos con Estel 1000 y con Nanorestore son los que menos cambios morfológicos y composicionales han provocado en las muestras. Documentándose, en el caso del silicato de etilo, una penetración de 20 μm y en el caso de las nanocales, de 50 μm; si bien estos datos solo se han observado en una muestra procedente de cada tratamiento, por lo que no se puede afirmar que los tratamientos alcancen dicha profundidad de forma general en el resto de los revestimientos.

Finalmente, en las muestras tratadas con Nano Estel, a excepción de las correspondientes a los revestimientos tardoantiguos (TA), se aprecia una capa de consolidante de unos 19 μm de espesor, que se ha craquelado en la parte más externa

(en torno a los 4 μm de espesor) provocando que toda la superficie se vea craquelada (Figura 9).

Análisis de las variaciones del color de la capa pictórica

El primer aspecto colorimétrico evaluado ha sido la variabilidad del color, es decir, la heterogeneidad de las muestras mediante la MCDM, anteriormente mencionada. Ésta se ha analizado en cada serie de fragmentos según su procedencia, en las muestras de referencia sin consolidar y en las muestras consolidadas con los distintos tratamientos (Tabla 2). Tal y como se ha indicado ya, el promedio de la variabilidad del color es ligeramente superior en las muestras no consolidadas, lo que indica que la consolidación no introduce heterogeneidades en el color sino que, más bien, lo homogeneiza aunque levemente.

El segundo aspecto analizado ha sido la diferencia de color CIELAB ($\Delta E^*_{a,b,10}$) de las muestras antes y después de la aplicación del consolidante atendiendo, nuevamente, a dos criterios: tratamiento de consolidación y tipo de revestimiento (Figura 10b). En todos los casos se han registrado,

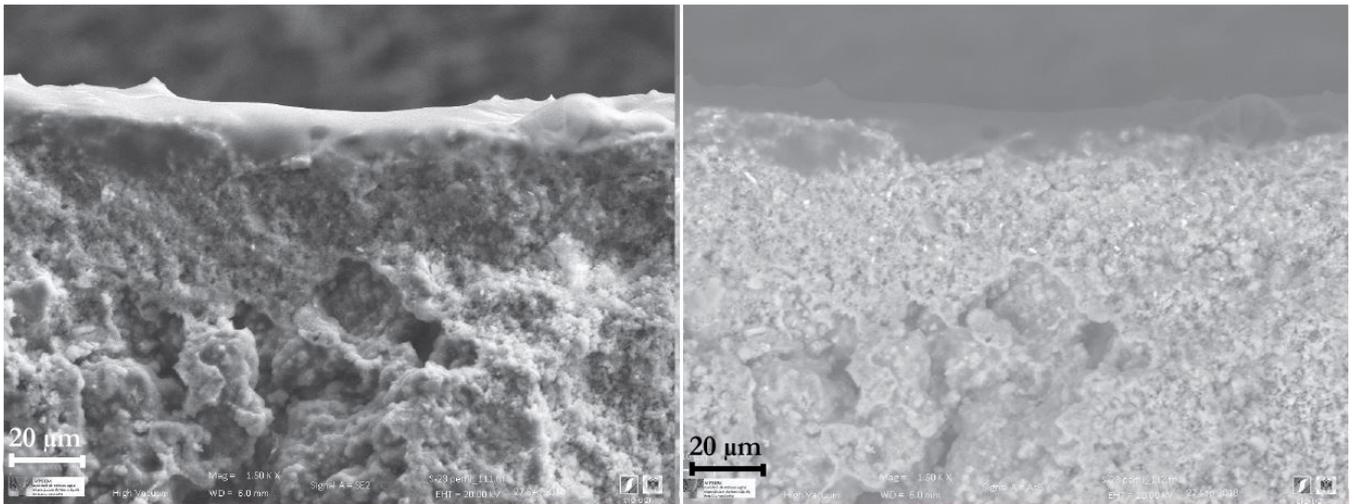


Figura 8. Análisis mediante HRSEM del perfil de la muestra CR3 tratada con Paraloid B72 donde se aprecia la capa orgánica que el consolidante forma en superficie: a) Imagen tomada con SE; b) imagen tomada con BSE.

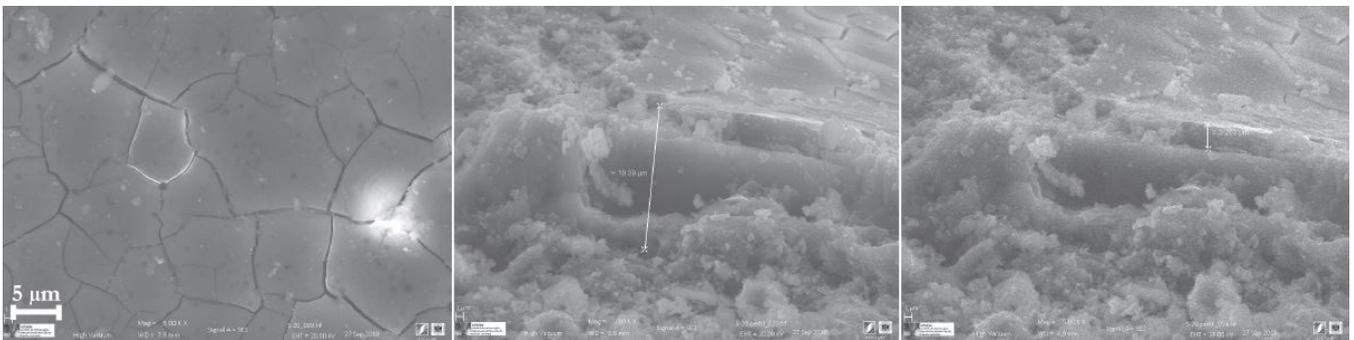


Figura 9. Análisis mediante HRSEM de la muestra PIT5 tratada con Nano Estel donde se aprecia: a) la superficie craquelada; b) el espesor de la capa total, de 19.4 μm; c) y de la parte craquelada, de 4 μm (Imágenes tomada con SE).

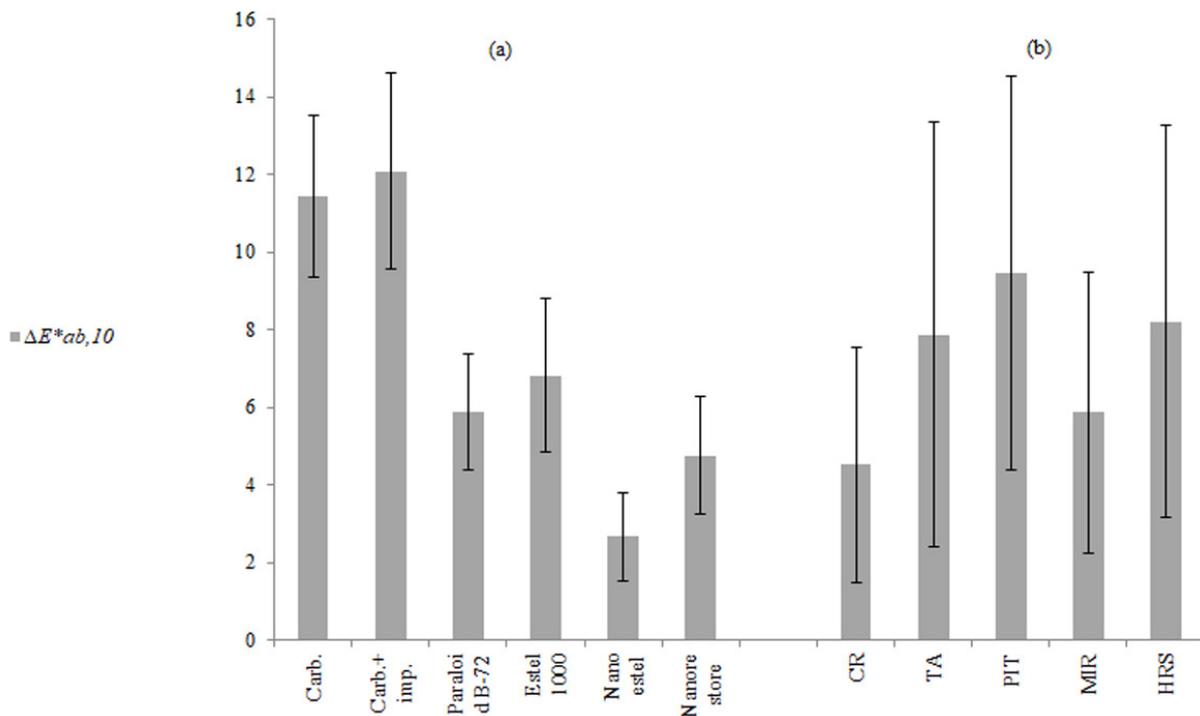


Figura 10. Valores promedio y desviación estándar (barras de error) de las diferencias de color CIELAB ($\Delta E^*_{ab,10}$) entre las muestras sin consolidar y consolidadas según cada tratamiento (a) y según la procedencia de cada muestra (b).

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de los valores MCDM (en unidades CIELAB) para cada serie de muestras en función de los siguientes criterios: procedencia y período (CR, TA, PIT, MIR y HRS), muestra de referencia sin consolidar (SC), muestras consolidadas de los diferentes tratamientos y conjunto de muestras consolidadas (C).

Procedencia	SC	Carb.	Carb. + <i>impacco</i>	Paraloid B72	Estel 1000	Nano Estel	Nanorestore	C
CR	2,0	1,1	1,2	1,7	1,8	1,4	2,4	1,6
TA	3,2	5,1	5,6	2,2	1,9	1,4	4,2	3,4
PIT	1,8	0,7	2,8	3,3	2,3	1,8	2,3	2,2
MIR	2,4	2,2	3,0	3,0	4,2	1,5	1,6	2,8
HRS	2,3	0,5	1,3	1,5	1,0	1,3	1,6	1,2
Promedio	2,3	2,1	2,5	2,1	2,0	1,5	2,4	2,1
Desv. est.	1,2	2,0	1,7	0,8	1,2	0,2	1,1	1,2

tras la consolidación, cambios de color claramente perceptibles, superiores a 2,0; se consideran perceptibles por personas con visión normal del color, valores de diferencia de color en torno a 1,0 unidades CIELAB [24]. En función del tratamiento, la bioconsolidación es el que mayor cambios de color ha producido, mientras que el nanosilicato de etilo el que menos; por otro lado, en función del revestimiento, las pinturas murales de época romana de Córdoba (PIT) son los que más cambios de color han evidenciado, siendo las que menos pulverulencia inicial presentaban, frente a las de época romana de Gástulo (CR) que son las que menos han variado su color, siendo asimismo las que mayor pulverulencia inicial presentaban.

Se ha analizado, también, de manera desglosada las diferencias de claridad, croma y tono CIELAB (ΔL_{10}^* , $\Delta C_{ab,10}^*$ y $\Delta H_{ab,10}^*$ respectivamente) (Figura 11 y 12). En este sentido, todos los consolidantes han provocado un oscurecimiento de la capa pictórica, a excepción del tratamiento con nanocales; del mismo modo, se ha evidenciado un incremento de colorido o pureza de color general en todos los casos; finalmente, se ha documentado un viraje mínimo de tono tras la aplicación de los tratamientos.

Conclusiones

Tras la evaluación de los distintos ensayos de consolidación ha sido posible establecer diversas conclusiones.

En primer lugar, existe un cambio de comportamiento de los consolidantes en función de las características del revestimiento. En este sentido, se ha evidenciado una mayor variación del color de la capa pictórica tras la aplicación del tratamiento en los revestimientos que menos pulverulencia inicial presentaban, y viceversa. Se ha documentado una mayor absorción de agua por capilaridad en los fragmentos cordobeses, que habían estado sometidos a unas condiciones de humedad y temperatura más extremas; y, además, se ha registrado un cambio de comportamiento en las pinturas cuya superficie no se presenta espantada, ya que en ellas el tratamiento no suele dejar un estrato

superficial tan patente como en el caso de las que sí lo están.

En segundo lugar, ningún tratamiento de consolidación ha destacado de manera positiva en todos los aspectos evaluados, aunque sí han presentado aspectos comunes como por ejemplo la homogeneización del color de la capa pictórica o que provocan un cierto oscurecimiento de la policromía. Respecto a las pruebas de solubilidad y al estudio colorimétrico, los consolidantes más empleados habitualmente, tanto la resina acrílica como el silicato de etilo, son los que presentan unos resultados más equilibrados; sin embargo, presentan algunos inconvenientes evidentes como la creación de un estrato orgánico superficial poco permeable en el caso de la resina acrílica o el posible agrietamiento de la superficie en el caso del silicato de etilo, que no pueden dejar de tenerse en cuenta. Por otro lado, el empleo de tratamientos basados en nanopartículas ha evidenciado, en ciertos aspectos, una mejora en cuanto a los tratamientos tradicionales pero, en otros aspectos, han supuesto peores resultados como la creación de un estrato superficial que se craquela en el caso del nanosilicato de etilo o el escaso nivel de consolidación que hace que permanezca la pulverulencia en los tratados con nanocales. Finalmente, el tratamiento de bioconsolidación presenta numerosas ventajas en cuanto a la consolidación de morteros se refiere, pero para la fijación de policromía todavía presenta algunas desventajas como el cambio cromático que producen y su escaso nivel de consolidación de la capa pictórica. Por otra parte, no se han documentado diferencias significativas entre la aplicación del tratamiento exclusivamente mediante nebulización o mediante nebulización e *impacco*, a pesar de haberse registrado, en el segundo caso, una mayor presencia de cultivo en la superficie.

Se evidencia que no existe el tratamiento ideal para todos los casos, sino que en función de la problemática concreta de cada revestimiento se deberá optar por un tratamiento u otro. Del mismo modo, queda patente la necesidad de continuar con la investigación en este campo, optimizando los tratamientos tradicionalmente empleados e implementando aquellos de nueva incorporación al mercado.

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. Asimismo, a las doctoras María Teresa González Muñoz y Fadwa Jroundi, del Departamento de Microbiología de la UGR, a la doctora Isabel Guerra Tschuschke, del Centro de Instrumentación Científica de la UGR y a la doctora Susanna Bracci del Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali (actual ISPC-CNR). Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del Proyecto de Investigación HAR2015-66139-P.

REFERENCIAS

- Moreno Cifuentes, M., 'La consolidación de revestimientos murales en yacimientos arqueológicos', in *Técnicas de consolidación en pintura mural – Actas del Seminario Internacional sobre la consolidación de pintura mural celebrado en Aguilar del Campoo (Palencia)*, Fundación Santa María la Real, Aguilar del Campoo (1998) 53-75.
- Mora, P.; Mora, L.; Philippot, P., *La conservazione delle pitture murali*, 2nd ed., Editrice Compositori, Bologna (2003).
- Martín Gil, M.; Gayo, L.; Bueso, M.; Suárez, M.J. (ed.), *Actas La Ciencia y el Arte VII*, Ministerio de Cultura y Deporte, Madrid (2018).
- Gruppo Italiano International Institute for Conservation (ed.), *Lo Stato dell'Arte 17*, Volume degli atti, Matera (2019).
- Scienza Beni Culturali (ed.), *Actas 36° Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali*, Venezia (2020).
- Jroundi, F.; González-Muñoz, M.T.; García-Bueno, A.; Rodríguez-Navarro, C., 'Consolidation of archaeological gypsum plaster by bacterial biomineralization of calcium carbonate', *Acta Biomaterialia* **10** (2014) 3844-3854, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.03.007>.
- Calvo, A., *Conservación y Restauración: Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*, Ediciones del Serbal, Barcelona (1997).
- Jroundi, F.; Fernández Vivas, A.; Rodríguez-Navarro, C.; Bedmar, E.; González-Muñoz, M.T., 'Bioconservation of deteriorated monumental calcarenite stone and identification of bacteria with carbonatogenic activity', *Environmental Microbiology* **60** (2010) 39-54, <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9665-y>.
- Costa, E.; Dei, L.; Giovagnoli, A.; Iole, M., 'Studio di consolidanti nanometrici per il consolidamento della pellicola pittorica dei dipinti murali', *Atti Convegno IGIIC* (2007) 193-198.
- Gómez-Villalba, L. S.; López Arce, P.; Fort González, R.; Álvarez de Buergo, M., 'La aportación de la nanociencia en la conservación de bienes del patrimonio cultural', *Patrimonio Cultural de España* **4** (2010) 43-56.
- Coladonato, M.; Scarpitti, P. 'Notas sobre el Triángulo Interactivo de los solventes y de la Solubilidad', notas, Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, (2008).
- Jroundi, F.; Bedmar, E.J.; Rodríguez-Navarro, C.; González-Muñoz, M. T., 'Consolidation of ornamental Stone by microbial carbonatogenesis', *Global Stone Congress* (2010) 1-5.
- Vázquez, E.; Bueno, J., 'Protocolo de actuación para el análisis del patrimonio documental y bibliográfico desde el aula de restauración de obra gráfica de la Facultad de Bellas Artes, Universidad de Sevilla', *Estudio y Conservación del Patrimonio Cultural. Actas Málaga* (2015) 115-118.
- AENOR, 'Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad', *UNE-EN 15801 Norma europea* (2009).
- Berns, R. S., *Billmeyer's and Saltzman's principles of color technology*, John Wiley & Sons, New York (2002).
- Collado-Montero, F. J.; Calero-Castillo, A. I.; Melgosa, M.; Medina-Flórez, V. J., 'Colorimetric evaluation of pictorial coatings in conservation of plasterworks from the Islamic tradition', *Studies in Conservation* **64**(2) (2019) 90-100, <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1460924>.
- Prestileo, F.; Bruno, G.; Alberghina, M. F.; Schiavone, S.; Pellegrino, L., 'I mosaici della villa romana del Casale di Piazzola Armerina: il contributo della indagine colorimetriche per la stesura del protocollo di intervento', *Quaderni di Fotonica e Ottica – Colore e Colorimetria. Contributi multidisciplinari* **16** (2007) 45-55.
- López-Martínez, T.; López-Cruz, O.; García-Bueno, A.; Calero Castillo, A.I.; Medina Flórez, V.J., 'Las pinturas murales de Castulo. Primeras aportaciones a la caracterización de materiales y técnicas de ejecución', *Lucentum* **35** (2016) 155-170, <https://doi.org/10.14198/LVCENTVM2016.35.08>.
- Calabria Salvador, I.; Zalbidea Muñoz, M. A., 'Estudio de las pinturas murales de la sala del Mosaico de los Amores de la ciudad ibero-romana de Cástulo', *Ge-Conservación* **16** (2019) 45-61, <https://doi.org/10.37558/gec.v16i0.663>.
- López-Martínez, T.; Medina-Flórez, V. J.; García-Bueno, A., 'Decoración parietal de un edificio paleocristiano en el Conjunto Arqueológico de Cástulo', *I Simposio anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España*, Editorial Universitat Politècnica de València (2021) 139-147, <https://doi.org/10.4995/icomos2019.2019.11698>.
- Castro del Río, E.; Pizarro Berengena, G.; Sánchez Ramos, I., 'El conjunto arqueológico del Parque Infantil de Tráfico de Córdoba. La ocupación tardoantigua del suburbium occidental de Colonia Patricia Corduba', *Anales de Arqueología Cordobesa* **17** (2006) 103-118, <https://doi.org/10.21071/aac.voi.8196>.
- Casal García, M. T.; Bermúdez, J. M.; León, A.; González, M.; Castro, E.; Murillo, J. F.; Vargas, S.; Rodero, S.; Sánchez, S.; Canovas, A.; García, B.; Gutiérrez, M. I.; León, E.; Pizarro, G.; Rodríguez, M. C.; Salinas, E.; Sánchez, I.; Soriano, P., 'Informe-memoria de la I.A.U. en el S.G. SS-1 (Parque de Miraflores y Centro de Congresos de Córdoba). Segunda fase', *Anuario Arqueológico de Andalucía* **1** (2003) 343-356.
- Murillo Redondo, J. F.; Casal García, M. T.; Cánovas Ubera, A.; García Matamala, B.; Salinas Pleguezuelo, E., *Informe preliminar de la actividad arqueológica preventiva para la ampliación del Hospital Universitario Reina Sofía y la construcción del Centro de Investigación Biométrica de la UCO*, Gerencia de Urbanismo, Ayuntamiento de Córdoba, Córdoba (2009).
- Huang, M.; Liu, H.; Cui, G.; Luo, M.; Melgosa, M., 'Evaluation of threshold color differences using printed samples', *Journal of the Optical Society of America A* **29** (2012) 883-891, <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.000883>.

RECIBIDO: 2020.6.8

REVISTO: 2021.3.2

ACEPTADO: 2021.3.13

ONLINE: 2021.3.16



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.