

Selección de productos consolidantes. Ensayos y estudios para la cohesión del soporte del abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel)

Claudia Serrano Aranda, María Antonia Zalbidea Muñoz, Manuel Bea Martínez

Resumen: Desde que el arte Levantino (ARAMPI) fue declarado Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998 existe una mayor tendencia hacia su conservación. Con el fin de avanzar en el conocimiento y experiencia en este patrimonio tan específico, en este estudio se testan diferentes productos consolidantes y así generar datos y material tangible sobre la compatibilidad del producto consolidante con el soporte, su concentración y forma de aplicación más adecuada. Los resultados han destacado la relevancia de los estudios previos científicos y empíricos para poder acometer intervenciones adecuadas, pues los productos más adecuados en la teoría han ofrecido peores resultados en la práctica, y determinan la necesidad de ulteriores estudios que amplíen el estudio aquí propuesto.

Palabras clave: arte levantino, consolidación, conservación-restauración, Sierra de Albarracín, Patrimonio Mundial, *Los Toros del Prado del Navazo*

Selection of consolidating products. Tests and studies for the cohesion of the support of Los Toros del Prado del Navazo shelter (Albarracín, Teruel)

Abstract: Since Levantine art (ARAMPI) was declared a World Heritage Site by UNESCO in 1998, there has been a growing trend towards its conservation. With the aim of advancing knowledge and experience in this very specific heritage, this study tests different consolidating products in order to generate data and tangible material on the compatibility of the consolidating product with the support, its concentration and the most suitable form of application. The results have highlighted the relevance of previous scientific and empirical studies to be able to undertake suitable interventions, as the most suitable products in theory have given worse results in practice and determine the need for further studies to extend the study proposed here.

Keywords: levantine rock art, consolidation, conservation-restoration, Albarracín Mountain Range, World Heritage, *Los Toros del Prado del Navazo*

Seleção de produtos de consolidação. Testes e estudos para a coesão do apoio do abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel).

Resumo: Desde que a arte Levantina (ARAMPI) foi declarada Património Mundial pela UNESCO em 1998, tem havido uma tendência crescente para a sua conservação. Com o objectivo de fazer avançar os conhecimentos e a experiência neste património muito específico, este estudo testa diferentes produtos de consolidação a fim de gerar dados e material tangível sobre a compatibilidade do produto de consolidação com o suporte, a sua concentração e a forma mais adequada de aplicação. Os resultados salientaram a relevância de estudos científicos e empíricos anteriores para se poder realizar intervenções adequadas, uma vez que os produtos mais adequados em teoria deram piores resultados na prática, e determinaram a necessidade de mais estudos para expandir a investigação aqui proposta.

Palavras-chave: arte levantina, consolidação, conservação-restauro, Serra de Albarracín, Património Mundial, *Los Toros del Prado del Navazo*

Introducción

El enclave con representaciones rupestres *Los Toros del Prado del Navazo* [Figura 1] está situado en la Sierra de Albarracín, cercano al municipio homónimo y dentro del Parque Cultural de Albarracín (Teruel). El hallazgo de estas pinturas en 1892 supuso el descubrimiento del arte Levantino (Marconell 1892a, 1892b), manifestación artística postpaleolítica, principalmente pictórica, que se encuentra situada en abrigos o covachas al aire libre, concentrándose exclusivamente en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. El sitio arqueológico del *Navazo* fue incluido en la lista de Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998 junto con el resto de conjuntos de la zona levantina. No obstante, pese a que estas pinturas se han incluido en esa tradición artística (Beltrán 1968; 1993; Piñón 1982; García Arranz et al. 2012), recientes investigaciones apuntan que pudieran pertenecer a un momento crono-cultural diferente (Martínez-Bea 2005, 2008; Bea 2017).

El abrigo se ubica en una afloración definida dentro de la facies *Buntsandstein* (final del Paleozoico-inicios del Mesozoico), y forma, junto los pinos resinosos, el paisaje protegido de *Pinares del Rodeno*. El soporte de las pinturas es clasificado como arenisca, ya que está constituido por cuarzo, feldespatos potásicos y micas [Figura 2]. Los clastos son subangulosos y con selección buena. La matriz rocosa y cementación de naturaleza arcillosa y de tipo ferruginoso, lo cual otorgan al soporte su característico color rojo. Las propiedades cromáticas rojizas de esta roca destacan sobre las pinturas de coloración blanquecina, rasgo casi exclusivo de Albarracín, y hecho que convierte a la zona en un núcleo extraordinario. En términos generales, la temática del abrigo responde a un naturalismo propio del momento cuaternario por la representación de bóvidos de grandes dimensiones. En contraste, existe la representación de un grupo de antropomorfos filiformes de menores dimensiones, que otorgan al conjunto una posterior cronología (Villaverde et al. 2012).



Figura 1.- Friso con pintura del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel). Fuente: Manuel Bea Martínez, 2015.

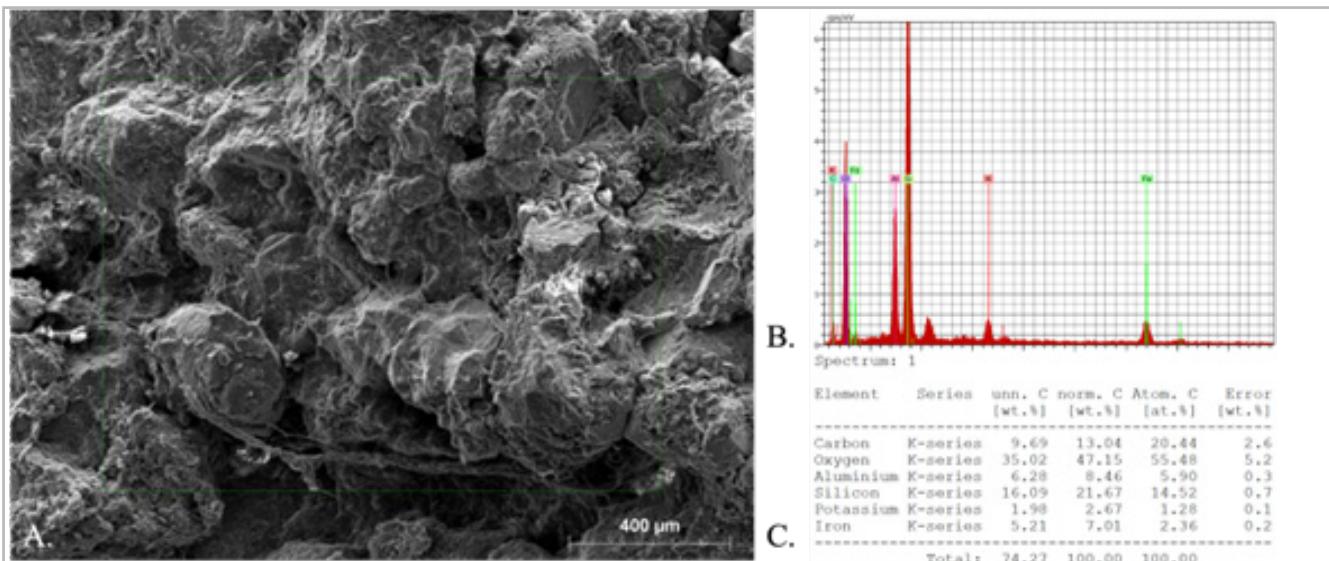


Figura 2.- Análisis mineralógico del soporte obtenido por microscopía electrónica de barrido con detector de rayos X (SEM-EDX) (*Hitachi® S-4800, SCSIE, Universitat de València*). A). Imagen SEM en electrones retrodispersados, 70x, 20.0kV; B). Espectro EDX; C). Análisis EDX.

En el interior del abrigo se observan abundantes microformas erosivas que afectan al soporte de las pinturas y que son fruto de su alteración geológica (Serrano *et al.* 2021). Este producto de degradación se conoce como tafonis, y ha sido producido a lo largo del tiempo por la exposición del soporte a los diferentes climas en los que ha convivido (Peña 2010). No obstante, este modelado sigue todavía activo, hecho que determina el estado de conservación del enclave.

La conservación del abrigo es un desafío para la preservación de las pinturas fundamentalmente por estar al aire libre y sus características minerales. Aunque es una roca muy compacta por su escasa porosidad, presenta puntos de debilidad causados, por un lado, por intercalación de niveles de arcilla y, por otra parte, por la presencia de estratificación normal y cruzada (Peña 2010). Ambas situaciones comprometen la estabilidad de la roca. No obstante, Benito *et al.* (1991-1992) ya apuntaban en la década de los 90 la rápida y progresiva degradación de las pinturas, pero desde entonces no ha existido ninguna investigación que aporte datos sobre su deterioro. Los estudios sobre el estado de conservación y patologías presentes (Serrano *et al.* 2021; Serrano 2021) destacaron diferentes fenómenos de alteración natural tales como colonización biológica, acumulación superficial de sustancias detriticas, agrietamientos, desplazados, eflorescencias salinas y, especialmente, una acusada

y generalizada lixiviación [Figura 3]. Esta lixiviación es producto de dos fuentes de degradación, por un lado, asociada a ciclos de haloclastismo y, por otro lado, relacionada con escorrentías de agua, que han supuesto la disolución de una parte del soporte y pérdida de una de las unidades gráficas del conjunto. Este hecho ha favorecido, a su vez, a la aparición de nuevos fenómenos de alteración como la presencia de nuevas eflorescencias salinas y concreciones insolubles. Como se ha comentado, todas las alteraciones son acrecentadas por la condición al aire libre del enclave.

Para garantizar una conservación futura de esta manifestación pictórica es necesario comprender cómo estabilizar el soporte alterado mediante un tratamiento de consolidación^[1]. La consolidación tiene como objetivo devolver la cohesión perdida y así reforzar las capas superficiales más susceptibles de deterioro (Osca 2005; Barreda *et al.* 2017; Girginova *et al.* 2018; Samaniego y Zornoza-Indart 2020). Este tratamiento es imprescindible para mejorar las cualidades y propiedades del soporte y, por tanto, necesario para su conservación. Una vez entendido cómo tratar el soporte se podrá evaluar tratamientos que incorporen procesos de intervención en le estrato. Es por ello, que en esta investigación se propone el estudio de diferentes materiales consolidantes compatibles con la matriz rocosa del soporte del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*, aunque permite ser un trabajo de referencia



Figura 3.- Fenómenos de alteración en el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*. A). Lixiviación; B). Tafoni o erosión alveolar; C). Concreciones insolubles y sustancias detriticas; D). Agrietamientos.

para otros conjuntos que precisen tratamientos futuros de intervención.

Las actuaciones de consolidación realizadas en el arte Levantino han sido acciones de urgencia en las que, probablemente la premura ha evitado una reflexión profunda sobre el tipo de material aplicado como consolidante. La naturaleza de los productos utilizados a lo largo del tiempo en la consolidación del patrimonio cultural ha sido diversa. Se pueden distinguir entre consolidantes orgánicos, organosilíceos e inorgánicos.

De modo ordinario se han utilizado los polímeros sintéticos ya que presentan un buen comportamiento mecánico respecto a los productos inorgánicos (Iole *et al.* 2002). Además, estos productos permiten cierta reversibilidad, el método de aplicación es más sencillo y el efecto consolidativo se produce tras la evaporación del disolvente (Osca 2005). En cambio, su uso se ha visto limitado en los últimos tiempos por su inestabilidad a corto y largo plazo. En consolidación de pintura Levantina se ha utilizado habitualmente *Paraloid® B-72*^[2], pese a que presenta diversas desventajas: irreversibilidad del material, ya que produce *cross-linking* en su red polimérica; alteraciones cromáticas o una elevada acidez (Borgioli 2002; Borgioli y Cremonesi 2005; Osca 2005; Bensi 2006). Asimismo, su estabilidad se ve cuestionada por la presencia de microorganismos (Amoroso 2002) e, incluso, se acumula y se distribuye de manera irregular por la superficie, modificando la permeabilidad al vapor de agua del soporte tratado (Barreda 2012). Por estos motivos, la tendencia actual es reducir su empleo en beneficio de materiales de base mineral como los consolidantes organosilíceos cuya acción viene dada por la precipitación de sílice amorfa que reticula con los minerales conglomerando el material rocoso. Muy utilizados desde el siglo XIX (Osca 2005) pueden producir cambios ópticos sobre la superficie (Gioia 2002) y, además, se pueden agrietar provocando micro fisuras superficiales (Brus y Kotlik 1996; Weiss *et al.* 2000; Wheeler 2005; Mosquera *et al.* 2008; Dohene y Price 2010; Briffa *et al.* 2012; Mosquera 2013; Naidu *et al.* 2015; Zalbidea y Gasque 2020). Aunque investigaciones recientes han determinado que la adición de *n-octilamina* evita este agrietamiento (Facio *et al.* 2018; Remzova *et al.* 2019). Por último, los consolidantes inorgánicos han sido utilizados mucho antes que los organosilíceos, y actualmente han sido perfeccionados gracias al creciente desarrollo de la ciencia, que ha extendido el uso de la nanotecnología proporcionando el uso de nanomateriales que mejoran las propiedades y la acción consolidativa debido a la reducción del tamaño de las partículas (Gómez *et al.* 2010).

Con todo, la ausencia de una experimentación de estos productos de consolidación en las areniscas de Albarracín, enfatiza la necesidad de una investigación sobre materiales compatibles con el soporte de las pinturas del *Navazo* y su seguimiento para observar su evolución a lo largo del tiempo. Para ello se confeccionaron muestras sobre las cuales se procedió a analizar la eficacia de los tratamientos

consolidantes y comparar la acción de los diferentes productos disponibles empleando distintos métodos de aplicación.

Materiales y métodos

Las muestras utilizadas en esta investigación proceden de material pétreo desprendido de los aledaños del abrigo del *Navazo*. A partir de los fragmentos recogidos se elaboraron probetas cúbicas (3 x 3 x 3 cm y 1 x 1 x 1 cm^[3]). Se realizaron 36 probetas de las que se emplearon 2 muestras para cada producto consolidante seleccionado y otras 2 quedaron sin tratar con la finalidad de obtener valores medios y comparar los resultados obtenidos.

La roca utilizada procede de la “arenisca del Rodeno”, un material arenoso que se originó tras la erosión del macizo paleozoico ibérico (Peña 2010). A nivel petrográfico, la arenisca objeto de estudio se compone de granos de cuarzo conglomerados por cemento silíceo. Además, cuenta con otros compuestos como hematites, caolinita o illita (Benito *et al.* 1991-92). La presencia casi en su totalidad de cuarzo determina la naturaleza silícea del soporte de las pinturas por lo que se estableció que los consolidantes debían tener la misma composición.

Se escogieron cuatro consolidantes [tabla 1]: *Wacker®-OH100* (Productos de conservación), *Tecnadis®-Solidus* (*Tecnan*), *Nano-Estel®* y *Nanorestore®* (ambos de C.T.S.). Los tres primeros fueron seleccionados por la excelente compatibilidad química con el soporte de las pinturas. En cambio, *Nanorestore®* tiene composición calcárea, pero fue seleccionado debido al porcentaje de carbonato cálcico detectado en las areniscas de Albarracín por Zalbidea y Gasque (2018). *Wacker®-OH100* y *Tecnadis®-Solidus* están compuestos de TEOS (tetraetilitortosilicato) diluidos en alcohol isopropílico generan la acción consolidante cuando el producto entra en contacto con la humedad de los poros y cristaliza en su interior (Mol *et al.* 2017). *Nano-Estel®* es una dispersión acuosa de nanopartículas de sílice en la que al menos una de sus dimensiones es nanométrica. *Nanorestore®* es una dispersión a base de hidróxido de calcio nanofásico en alcohol isopropílico que reacciona con el CO₂ ambiental y se transforma en carbonato cálcico.

Los consolidantes seleccionados se aplicaron con brocha a la concentración que la casa comercial recomienda (100%), salvo *Nano-Estel®* (25%). La concentración más baja de *Nano-Estel®* es debida a una experimentación previa del producto que denotó elevadas modificaciones superficiales a concentraciones más altas (Zalbidea y Gasque 2020; Serrano 2021). Los productos fueron aplicados con el método de aplicación *wet on wet*, ya que fueron sometidos a una experimentación previa (Serrano *et al.* 2021). Este método consiste en aplicar una capa previa del diluyente de los productos para humectar el sustrato y después se administra el consolidante (Gherardi *et al.* 2018). Se aplicaron 3 capas por una de las caras de las muestras

Producto	Wacker®OH100	Tecnadis®-Solidus	Nanoestel®	Nanorestore®
Casa comercial	Productos de conservación	Tecnan S.L.	C.T.S.	C.T.S.
Composición	Éster etílico de ácido silílico	Éster etílico de ácido silílico	Nanopartículas de dióxido de silicio	Nanopartículas de hidróxido de calcio
Concentración principio activo	75%	70%	30%	0,5%
Tamaño de partícula	-	-	<20 nm	1-100 nm
Diluyente	Alcohol isopropílico	Alcohol isopropílico	Agua desmineralizada	Alcohol isopropílico
Concentración a aplicar	100%	100%	25%	100%
Número de capas	3	3	3	3
Método de aplicación	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel	Impregnación con pincel
Modo de trabajo	Wet on wet	Wet on wet	Wet on wet	Wet on wet

Tabla 1.- Consolidantes seleccionados y metodología de trabajo en arenisca (rodeno).

siguiendo este método. Las condiciones de aplicación fueron en condiciones de laboratorio (21°C, 55% HR).

Las muestras pétreas fueron observadas previamente al tratamiento y posteriormente a la aplicación del tratamiento con mediante *Leica® MZ APO* para clasificar las características minerales del soporte. Asimismo, se utilizó microscopía óptica digital con el equipo *Reflecta® DigiMicroscope USB 200* para evaluar la morfología superficial antes y después del tratamiento.

Los ensayos colorimétricos se realizaron con el dispositivo *X-Rite® Eye One Defined* y el software *i1Profiler®*. Se realizaron tres medidas en un mismo punto en cada una de las probetas antes y después del tratamiento para valorar la diferencia cromática. Se utilizaron las coordenadas cromáticas CIE L*a*b*, con el iluminante D65 y 10° de ángulo de observación. La diferencia de color total (ΔE^*) fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2}$$

Las muestras fueron observadas y analizadas en microscopía electrónica de barrido con detector de rayos X (SEM-EDX) con el equipo *Hitachi® S-4800* y la adquisición de espectro con el software *Quantax 400 de Bruker®*. Las condiciones de trabajo fueron bajo vacío a 1.0 kV. Para obtener resultados y valorar la eficacia de los tratamientos, la observación y el análisis tuvo lugar antes, después de la aplicación y tras ciclos de envejecimiento.

Se estudió el comportamiento hídrico mediante el ensayo de absorción de agua por capilaridad según la norma UNE-EN 15801: 2010. Así se determinó la cantidad de agua absorbida por cada probeta tratada y se calculó el coeficiente de absorción (AC) mediante la siguiente fórmula:

$$AC = kg/m^2 \cdot s^{1/2}$$

Las muestras tratadas se sometieron a ciclos de deterioro acelerado siguiendo la norma ASTM D1183-03 en la cámara

climática KMF240 de *Binder®* y se evaluaron los cambios en la morfología superficial en SEM y las variaciones colorimétricas antes y después de este ensayo.

Resultados y discusión

La observación del trabajo empírico y de las muestras tratadas [Figura 3] proporcionó información muy interesante: la aplicación de los productos constató la rápida evaporación de *Nanorestore®*, con una escasa difusión del material. A causa de esa rápida evaporación el consolidante quedó retenido en la superficie y generó un halo blanquecino desigual. En las imágenes de microscopía digital se observó como este producto quedó acumulado en las zonas cóncavas [Figura 3]. Por el contrario, *Nano-Estel®* presentó una evaporación más lenta y una retención en superficie del producto que se vio incrementada tras la aplicación de las sucesivas capas. Despues de la evaporación del disolvente se observó un lustre vítreo homogéneo. Respecto a los consolidantes con TEOS presentaron una mayor propagación del producto, especialmente acusada en *Wacker®-OH100*, puesto que la evaporación del disolvente es más lenta. El consolidante quedó retenido en superficie por más tiempo, sobretodo tras la aplicación de la tercera capa. De manera similar se comporta *Tecnadis®-Solidus*, aunque su difusión es menor y la evaporación del disolvente más rápida. En este producto, en microscopía digital se observa la aparición líneas brillantes tras los ciclos de envejecimiento [Figura 4], pero que no son perceptibles en microscopía electrónica [Figura 5].

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido se constataron las modificaciones superficiales generadas por los productos que se observaban ya con la microscopía óptica digital. Se evidenció la distribución irregular de *Nanorestore®* [Figura 5]. De igual modo, se aprecia que *Nano-Estel®* había generado una película densa y muy agrietada [Figura 5]. En cambio, las muestras tratadas con los productos con TEOS no experimentaron cambios superficiales destacables.

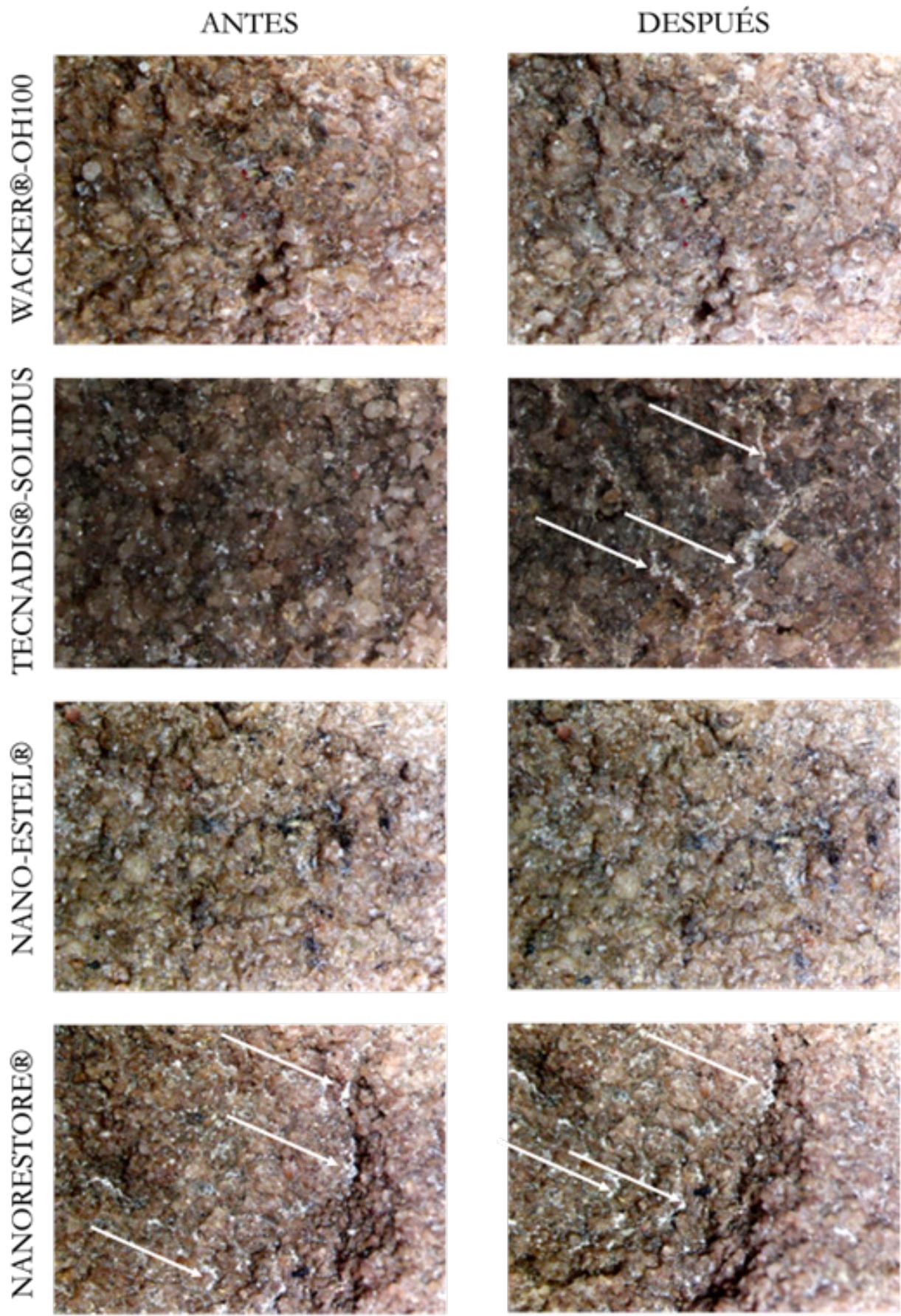


Figura 4.- Morfología superficial del soporte tras la aplicación de los consolidantes (ANTES) y tras los ciclos de deterioro acelerado (DESPUÉS). Microscopía óptica digital (57x).

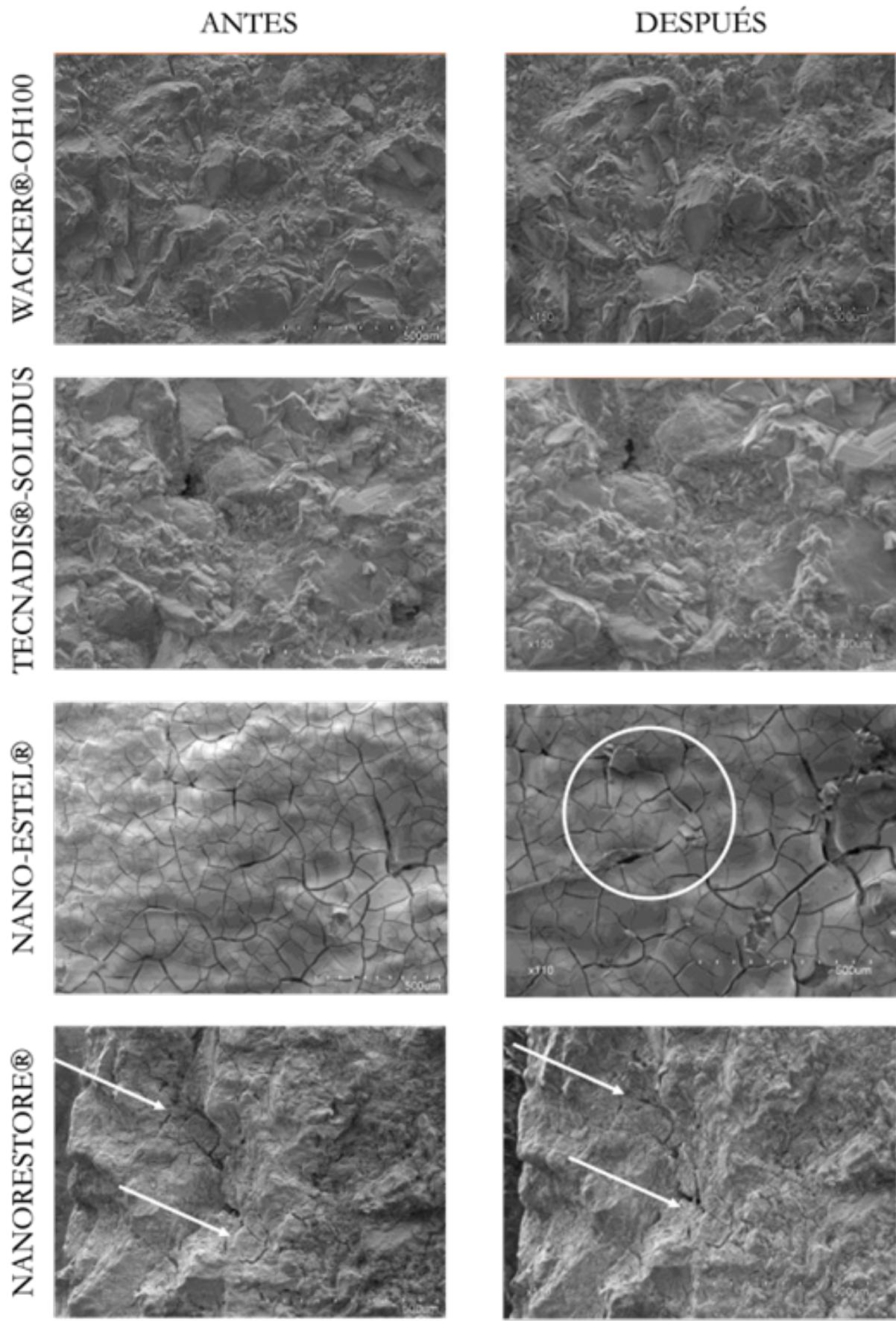


Figura 5.- Morfología superficial del soporte tras la aplicación de los consolidantes (ANTES) y tras los ciclos de deterioro acelerado (DESPUÉS). Microscopía electrónica de barrido.

Los cambios cromáticos experimentados en las muestras después de la aplicación de los productos fueron evaluados mediante la diferencia de color total (ΔE^*) [Tabla 2]. Como puede apreciarse en la diferencia de color total cada producto ha producido un efecto cromático distinto pese a haber sido aplicado en las mismas condiciones. Los valores de luminancia han descendido en los consolidantes TEOS, lo que significa que el material pétreo ha oscurecido, observándose en *Tecnadis®-Solidus-2* el mayor descenso ($\Delta L^*-8,98$) y en *Wacker®-OH100-2* el menor ($\Delta L^*-2,46$). En cambio, la variación cromática producida en la piedra tratada con nanopartículas es diferente, se ha incrementado la luminosidad, especialmente en *Nanorestore®-2* ($\Delta L^*4,69$); efecto debido a la precipitación del producto en superficie. Respecto a los valores de a^* , existe, de nuevo, una diferencia entre los productos TEOS y los inorgánicos nanoparticulados. Los consolidantes TEOS tienen una ligera intensificación hacia el rojo, especialmente en *Wacker®-OH100-2* ($\Delta a^*1,32$). Pese a ello *Tecnadis®-Solidus-1* su valor Δa^* es negativo ($\Delta a^*-0,47$), se mantiene en el rango de los rojos. En cuanto Δb^* , todos los consolidantes se han enfriado, es decir, existe una tendencia ascendente hacia el espacio cromático azul, salvo en *Wacker®-OH100-2* ($\Delta b^*0,78$). No obstante, el consolidante que registró el valor negativo más alto es *Nano-Estel®-1* ($\Delta b^*-3,34$).

Con todo, las probetas *Wacker®-OH100* y *Nano-Estel®* ($\Delta E^*3,22$; 3,30; respectivamente), apenas han experimentado una variación de color perceptible, ya que se sitúan en los valores próximos a $\Delta E^* 2,5$ a partir del cual el cambio cromático es perceptible por el ojo humano (Melgosa *et al.* 2001). Mientras que *Nanorestore®* y *Tecnadis®-Solidus* experimentaron una diferencia de color más elevada ($\Delta E^*4,05$; 6,44; respectivamente), oscureciendo considerablemente el soporte. Esta diferencia de color podría implicar que ambos productos no serían adecuados para su uso y aplicación.

Se puede apreciar que existe una diferencia en el comportamiento hídrico entre las muestras tratadas y sin tratar [Tabla 3] [Gráfico 1]. En las muestras tratadas se observó

un descenso del coeficiente de absorción (AC), especialmente acusado en *Tecnadis®-Solidus* ($AC=0,0041 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$), ya que el producto colmó los poros de la roca. Similar a éste, se comportó *Wacker®-OH100* ($AC=0,0053 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$). Tal y como reflejan las curvas de ambos productos, la capacidad de absorción de ambos es moderada y queda muy alejada de la curva de la muestra sin tratar. Sin embargo, los productos con nanopartículas presentaron el coeficiente de absorción más bajo (*Nano-Estel®*: $AC=0,0059$ y *Nanorestore®*: $AC=0,0060 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$) respecto al material sin tratar ($AC=0,0063 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$). El hecho de que *Nanorestore®* presente un coeficiente de absorción hídrica próximo a la roca sin tratar es predecible puesto que se observaba una acumulación irregular y poco homogénea del producto sobre la superficie. En cambio, conviene destacar el comportamiento hídrico que ha experimentado *Nano-Estel®*, en las imágenes obtenidas en SEM se observaba una película quebradiza y densa que cubría toda la extensión de la superficie. Por el contrario, se percibe un coeficiente de absorción similar a la roca sin tratar, y, por tanto, se produjo un flujo hídrico similar al material no tratado. Para explicar este escenario se pueden plantear dos hipótesis distintas. Por un lado, se presume que el film de *Nano-Estel®* presenta una estructura micro porosa no perceptible en las magnitudes en las que se trabajaron en SEM o, por otra parte, podría ser probable que el caudal hídrico penetre al interior de la roca por la cantidad de grietas del film generado por el consolidante. No obstante, *Wacker®-OH100* se sitúa en posición intermedia ($AC=0,0053 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$).

MUESTRAS	AC kg/(m ² ·s ^{1/2})
Sin tratar	0,0063
<i>Wacker®-OH100</i>	0,0053
<i>Tecnadis®-Solidus</i>	0,0041
<i>Nano-Estel®</i>	0,0059
<i>Nanorestore®</i>	0,0060

Tabla 3.- Coeficiente de absorción (AC) de muestras sin tratar y tratadas.

	ANTES DE APLICACIÓN			DESPUÉS DE APLICACIÓN			DIFERENCIA DE COLOR				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	$\Delta E^* \text{ Media}$
<i>Wacker-OH100-1</i>	47,51	14,88	17,54	45,05	15,71	16,66	-2,46	0,82	-0,88	2,74	3,22
<i>Wacker-OH100-2</i>	45,28	17,13	15,94	41,89	18,45	16,71	-3,38	1,32	0,78	3,71	
<i>Tecnadis-Solidus-1</i>	43,64	18,27	16,45	39,98	17,81	16,03	-3,66	-0,47	-0,42	3,71	6,44
<i>Tecnadis-Solidus-2</i>	46,03	9,31	15,93	37,05	9,37	14,04	-8,98	0,05	-1,88	9,18	
<i>Nano-Estel-1</i>	40,64	9,67	15,69	43,90	7,57	12,35	3,26	-2,10	-3,34	5,12	3,30
<i>Nano-Estel-2</i>	40,91	9,09	14,68	41,40	8,68	13,34	0,49	-0,41	-1,33	1,48	
<i>Nanorestore-1</i>	51,49	16,73	17,51	53,34	15,74	16,03	1,85	-0,99	-1,48	2,57	4,05
<i>Nanorestore-2</i>	42,11	11,26	14,34	46,80	9,40	12,05	4,69	-1,86	-2,28	5,54	

Tabla 2.- Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas antes y después del tratamiento.

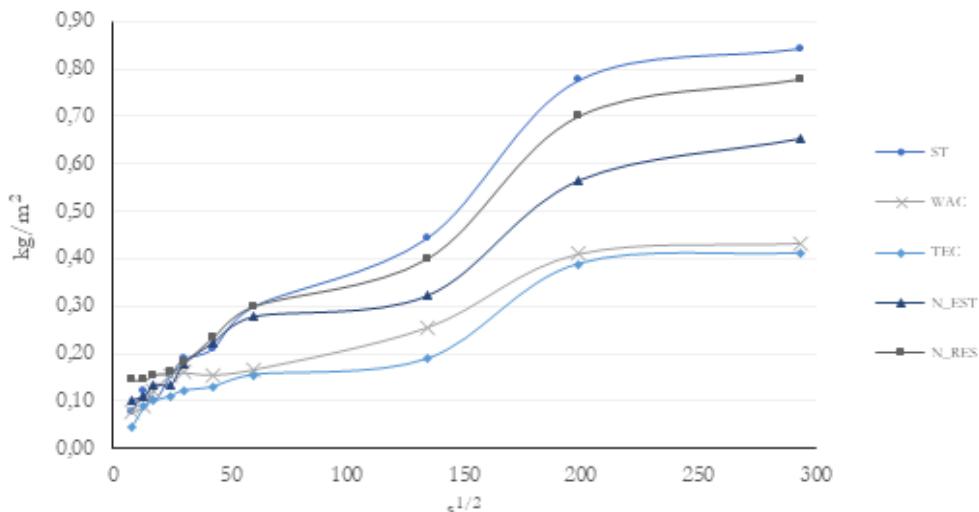


Gráfico 1.- Curva de absorción capilar de muestras sin tratar y tratadas. (ST: Sin tratar; WAC: *Wacker®-OH100*; TEC: *Tecnadis®-Solidus*; N_EST: *Nano-Estel®*; N_Res: *Nanorestore®*).

Los ciclos de deterioro acelerado han evidenciado un efecto sobre la morfología superficial de los consolidantes aplicados. Fundamentalmente este cambio es producido en los materiales nanoparticulados y se reflejó mediante la manifestación de grietas y levantamientos, especialmente acusado en *Nano-Estel®* [Figura 4]. Estas áreas agrietadas implican fragilidad para la superficie tratada: por un lado, la zona tratada requería de un tratamiento que devolviera su cohesión perdida, pero si este tratamiento es alterado, el riesgo de una futura descohesión para la obra se ve incrementado; y, por otra parte, las zonas agrietadas o con levantamientos implican un comportamiento diferencial entre las zonas tratadas, es decir, entre la zona estable y la zona inestable. Esta diferencia de comportamiento entre las diferentes zonas puede debilitar la estabilidad del soporte. Además, estas áreas inestables favorecen la percolación

de agentes de degradación, como el agua. En cambio, los TEOS no generan modificaciones visuales durante la experimentación. No obstante, no sólo es importante tener en cuenta el cambio morfológico generado por los consolidantes en forma de films, sino el cambio colorimétrico que han experimentado las superficies tratadas tras los ciclos de deterioro [Tabla 4]. Se observa que algunas muestras tratadas han perdido luminosidad (*Wacker®-OH100*, *Nano-Estel®*, *Nanorestore®*). Al contrario, *Tecnadis®-Solidus* la ha incrementado. En cuanto a los valores de a*, *Wacker®-OH100* ha experimentado una disminución de ese parámetro ($\Delta a^* = -0,46$; -0,76), aunque se mantiene en la tonalidad rojiza. En cambio, *Tecnadis®-Solidus* ha aumentado ligeramente la tonalidad rojiza ($\Delta a^* = 0,36$; 0,18), saturándose el color. Las probetas con *Nano-Estel®* y *Nanorestore®* han actuado de manera

	DESPUÉS APLICACIÓN			CÁMARA ENVEJECIMIENTO			DIFERENCIA DE COLOR				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*	ΔE* Media
<i>Wacker OH100-1</i>	45,05	15,71	16,66	44,01	15,25	16,76	-1,04	-0,46	0,10	1,14	1,20
<i>Wacker OH100-2</i>	41,89	18,45	16,71	42,27	17,67	15,80	0,38	-0,78	-0,91	1,26	
<i>Tecnadis Solidus-1</i>	39,98	17,81	16,03	41,29	18,16	16,58	1,31	0,36	0,54	1,46	1,53
<i>Tecnadis Solidus-2</i>	37,05	9,37	14,04	38,31	9,55	13,06	1,26	0,18	-0,98	1,61	
<i>Nano Estel-1</i>	43,90	7,57	12,35	44,21	8,21	12,91	0,31	0,64	0,56	0,90	3,38
<i>Nano Estel-2</i>	41,40	8,68	13,34	36,42	8,45	10,25	-4,98	-0,23	-3,09	5,86	
<i>Nanorestore-1</i>	53,34	15,74	16,03	51,92	16,02	15,99	-1,42	0,28	-0,05	1,45	1,55
<i>Nanorestore-2</i>	46,80	9,40	12,05	45,45	8,73	12,73	-1,35	-0,67	0,67	1,65	

Tabla 4.- Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas después del tratamiento y tras un ciclo en cámara de envejecimiento.

distinta, aun siendo el mismo producto, *Nano-Estel®-1* y *Nanorestore®-1* han incrementado los valores de a^* , pero los otros han disminuido. De un modo similar sucede con el parámetro b^* , todas las muestras, independientemente del producto empleado, han disminuido o incrementado su valor. Especialmente, *Nano-Estel®-2* ha descendido (-3,09) tendiendo a enfriarse cromáticamente la superficie. Por otra parte, *Nanorestore®-2* es el producto que más ha incrementado su valor ($\Delta b^* 0,67$). Diferencia de color ya anotada tras la aplicación de los consolidantes esta diferencia aumenta.

Conclusiones

Del estudio documental realizado, se detecta que los tratamientos de conservación y restauración, y en especial las intervenciones de consolidación llevadas a cabo en arte Levantino, adolecen de un seguimiento técnico, se encuentra escasa documentación con pocas georreferencias a las zonas tratadas y grandes carencias de aclaraciones y detalles técnicos. El uso de determinados materiales como los polímeros orgánicos sintéticos son poco adecuados, siendo evidenciadas sus contraindicaciones (por autores de prestigio). Aun así, en diferentes abrigos con arte Levantino el Paraloid-B72® ha sido utilizado de un modo ordinario. Este hecho junto a la documentación poco accesible, insuficiente y poco exacta sobre los tratamientos realizados genera la necesidad de proponer estudios sobre tratamientos de consolidación específicos, compatibles y que además sean contrastados tanto científica como empíricamente para poder generar datos e información tangible para determinar los productos y tratamientos más adecuados para las acciones consolidativas. De este modo se podrán acometer intervenciones respetuosas y rigurosas no sólo en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo, sino extender estas prácticas a otros abrigos de Albaracín, de naturaleza silícea con similares alteraciones y necesidades. Y, es que, los resultados obtenidos han descartado productos a utilizar en este material, como *Nanorestore®* y *Nano-Estel®*, siendo el que mejor se ha comportado *Wacker®-OH100*.

Los resultados obtenidos demuestran una distribución heterogénea de los productos en superficie, como puede observarse en las diferentes muestras analizadas al SEM. Esta distribución poco uniforme puede provocar comportamientos muy distintos entre el soporte natural y el producto aplicado. En cambio, en *Nano-Estel®* observábamos una distribución más regular, pero ha generado un film superficial muy quebradizo. Sin embargo, esta distribución uniforme del producto ha generado un incremento acusado de diferencia de color total después de la aplicación del producto. Además, este producto ha generado una diferencia cromática tras los ciclos de envejecimiento y su *film* ha continuado fracturándose, circunstancia que puede provocar comportamientos diferenciales. Como se señalaba, a priori, este era el material conveniente para consolidar este tipo de soporte

por su composición química y propiedades, en cambio, es el consolidante que peor resultado ha proporcionado. De un modo diferente actuó *Nanorestore®*, ya que generó concentraciones irregulares de carbonato cálcico en la superficie. Este hecho ha facilitado la acumulación de producto en las zonas más recónditas y ha actuado llenando los intersticios a consolidar. Ahora bien, la rápida evaporación del disolvente evita una penetración profunda del producto, cuestión que resultaría contra indicativa. No obstante, este producto quedaría descartado por la escasa compatibilidad química con el soporte y por el impacto cromático que provoca en la superficie tratada.

Al contrario que los anteriores, los productos organosilíceos, no han generado *films* continuos, posiblemente por la evaporación más dilatada del disolvente. De esta manera la sílice precipitada respeta el sistema poroso del soporte y, a su vez, refuerza las partículas minerales conglomerando de un modo natural al soporte, especialmente *Wacker®-OH100*.

Respecto a las variaciones de color en la mayoría de los casos son perceptibles por el ojo humano, ya que superan el valor 2,5. Las diferencias de color total tras el ensayo de deterioro acelerado sufrieron un incremento de la diferencia de color en las 36 muestras tratadas. Esta diferencia unida al aumento de color producido tras la aplicación de los productos supondría un cambio cromático todavía mayor. No obstante, los consolidantes que mejor amortiguaron este cambio de color fueron *Wacker®-OH100* (100%) y *Nano-Estel®* (25%).

El comportamiento hídrico revela, especialmente en los consolidantes nanoparticulados, que el coeficiente de absorción es similar a la de la roca del abrigo, aunque *Wacker®-OH-100*, pese a ser TEOS, también mantiene unos valores muy próximos al material original. Este hecho implica que respeta, en gran medida, la porosidad del soporte, por tanto, se prevé que no se produzcan comportamientos diferenciales acusados.

Por tanto, pese al creciente desarrollo de la nanotecnología en el ámbito del patrimonio cultural y las buenas propiedades y cualidades que ofrece, los dos materiales testados en esta investigación no han facilitado los resultados esperados. En cambio, el uso de TEOS ha ofrecido una mayor eficacia, en concreto *Wacker®-OH100* ha presentado ventajas respecto al resto de materiales estudiados. Se ha comprobado que es el producto que menos modifica la apariencia de la roca original, tanto al aplicar el tratamiento como a medio-largo plazo, comprobado tras los ciclos de envejecimiento. De igual modo, el comportamiento hídrico del material es adecuado, pues el cambio de las propiedades hídricas del material es mínimo y garantiza la porosidad de la roca.

Con todo, es importante señalar, que se está continuando con el estudio en profundidad de distintos consolidantes en el Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), mientras que

se están llevando a cabo ensayos y estudios *in situ*, ya que es fundamental realizar un estudio, donde valorar la idoneidad del tratamiento y poder correlacionar estos resultados obtenidos.

Se considera sustancial desarrollar como futura línea de investigación un trabajo que contemple un estudio y valoración de una intervención completa de diversos tratamientos conservación-restauración: limpieza, desalación, consolidación estructural, así como, labores de conservación preventiva.

Notas

[1] Se requiere un estudio exclusivo del tratamiento de consolidación ya que, en el análisis del estudio documental de los tratamientos llevados a cabo en el arte Levantino, la consolidación ha sido el tratamiento que requiere un análisis en profundidad por los procesos, productos e información poco precisa que ofrece la información disponible de dicho tipo de intervención.

[2] Intervenciones con *Paraloid® B-72* en la *Cueva de la Serreta* (Cieza, Murcia), la *Cova dels Caballs* (Tirig, Castellón), la *Cueva de Ambrosio* (Vélez Blanco, Almería) (Ballester 2003). Domingo *et al.* (2012: 147) señalan el uso de una resina acrílica para la consolidación del abrigo de Tortosillas, posiblemente los autores utilizaron el nombre genérico y puede corresponder con *Paraloid® B-72*.

[3] Las probetas de 1 x 1 x 1 cm se utilizaron exclusivamente para ser observadas y analizadas por microscopía electrónica de barrido.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València el uso del colorímetro y de la cámara climática para la realización de este trabajo. A las técnicos del Servicio Central de Soporte a la Investigación Experimental (SCSIE) de la Universitat de València su ayuda en el empleo de SEM-EDX. Al agente de Protección de Patrimonio Cultural, Hilario Dalda Abril, por su ayuda y tiempo en el trabajo de campo. A José Ignacio Royo Guillén y Blanca Latorre Villa, técnicos de la Dirección General de Cultura y Patrimonio del Gobierno de Aragón. A la Comisión Provincial del Patrimonio Cultural de Teruel por la aceptación de los permisos pertinentes. A los investigadores Dr Rafael Fort González y Dra Luz Stella Villalba Gómez por permitir avanzar en el estudio de la propiedades petrofísicas la investigación iniciada.

Los resultados obtenidos en este estudio se revisan, examinan y actualizan en el contexto de los proyectos PID2020-116598GB-100: *Gaps and dates: dinámicas culturales en la Prehistoria de la Cuenca del Ebro* (UNIZAR:

2021-2024) y PID2020-117713RB-100: *WIMOSA: Sistema Wireless de monitorización continua para la salvaguarda del patrimonio* (UPV: 2021-2024).

Bibliografía

AMOROSO, G. (2002). *Trattato di scienza della conservazione dei monumenti. Etica della conservazione, degrado dei monumenti, interventi conservativi, consolidanti e protettivi*. Florencia: Alinea editrice.

BALLESTER, L. (2003). *Conservación de las pinturas rupestres del Levante español*. Tesis doctoral [inédita]. Universitat Politècnica de València.

BARREDA, G. (2016). *Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de Arte Rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remigia (Barranc de Gasulla-Ares del Maestre)*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/63280>

BARREDA, G. y ZALBIDEA, M. A. (2017). "Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso en el Abric de Pinos (Benissa-Alicante)". En *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales (ANIAV 2017, GLOCAL)*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/5861/2812>

BARREDA, G., ZALBIDEA, M. A., OSCA, J. (2017). "Comparativa entre distintos consolidantes inorgánicos nanoparticulados a base de hidróxido cálcico". En *III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales (ANIAV 2017, GLOCAL)*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ANIAV/ANIAV2017/paper/viewFile/5702/2777>

BEA, M. (2017). "El abrigo de Hoya de Navarejos III (Tormón, Teruel). Nuevas perspectivas para el análisis del arte levantino interior", *Complutum*, 28 (1): 37-50. <https://doi.org/10.5209/CMPL.58417>

BELTRÁN, A. (1968). *Arte rupestre levantino*. Zaragoza: Monografías arqueológicas, IV. Facultad de Filosofía y Letras, Seminario de Prehistoria y Protohistoria.

BELTRÁN, A. (1993). *Arte prehistórico en Aragón*. Zaragoza: Ibercaja.

BENITO, G., MACHADO, M.J. Y SANCHO, C. (1991-92). "Alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albarracín (Teruel) y su influencia en la conservación de las pinturas rupestres". En *Kalathos*, 11-12, 7-24.

BENSI, P. (2006). "Le resine acriliche sulle pitture murali". En *Seminario Esperienze e Materiali di Restauro. Le Resine Acriliche Sulle Pitture Murali: Thiene* (VI) Padua: Il Prato, 81-84.

BORGIOLI, L. (2002). *Polimeri di sintesi per la conservazione della pietra*. Padua: Il Prato.

- BORGIOLI, L. y CREMONESI, P. (2005). *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*. Padua: Il Prato.
- BRIFFA, S., SINAGRA, E. y VELLA, D. (2012). "Teos based consolidants for maltese globigerina limestone: effect of hydroxyl conversion treatment". En *12th International Congres on Deterioration and Conservation of Stone. Nueva York: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, 1-11. Disponible en: <https://www.um.edu.mt/library/oar//handle/123456789/18235>
- BRUS, J. y KOTLIK, P. (1996). "El agrietamiento de los geles organosilíceos utilizados en consolidantes para piedra", *Cuadernos de conservación*, 41, 28-31.
- DOHENE, E., y PRICE, C. (2010). *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute. Disponible en: <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/9781606060469.html>
- DOMINGO, I., RUBIO, R. y RIVES, B. (2012). *Abrigo de Tortosillas, 100 años de su descubrimiento*. Valencia: Diputación de Valencia y Ayuntamiento de Ayora.
- FACIO, D. S., ORDÓÑEZ, J. A., ALMORAIMA, M. L. et al. (2018). "New consolidant-Hydrophobic Treatmen by Combining SiO₂ Composite and Fluorinated Alkoxy silane: Application on Decayed Biocalcareus Stone from an 18th Century Cathedral", *Coatings*, 8 (5), 170: 1-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings8050170>
- GARCÍA ARRANZ, J.J.; COLLADO, H. y NASH, G. (eds.) (2012). *The question Levantine: new directions in understanding the Spanish Levantine Rock Art*. Cáceres-Budapest: Archaeolingua Alapítvány, Universidad de Extremadura, Servicio de publicaciones.
- GASQUE, R. (2017). *Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre. El caso del abrigo de los Toros del Barranco de las Olivas, Albarracín (Teruel)*. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/98326>
- GASQUE, R., ZALBIDEA, M. A., ROYO, J. I. et al. (2018). "Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de pintura rupestre al aire libre. El caso del abrigo de Los Toros del Barranco de las Olivas (Albarracín, Teruel)". En *II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*. Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, 91-101.
- GHERARDI, F., NGOIDANICH, S., DAL SANTO, V. y TONIOLI, L. (2018). "Layered Nano-TiO₂ based treatments for the maintenance of natural stones in Historical Architecture", *Angewandte Chemie*, 130, 7482-7485. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ange.201712752>
- GIOIA, G. (2002). Uso dei silicati nelle facciate dipinte Palazzo Pallavicino a Genova. En *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento deo manufatti storici*. Padua: Il Prato.
- GIRGINOVA, P. I., GALACHO, C., VEIGA, R. et al. (2018). "Inorganic nanomaterials for restoration of cultural heritage: Synthesis approaches towards nanoconsolidants for Stone and wall paintings", *ChemSusChem*, 11, 4168-4182. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cssc.201801982>
- GÓMEZ-VILLALBA, L. S., LÓPEZ-ARCE, P., FORT, R. et al. (2010). "La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural". En *Patrimonio Cultural de España*, 4, 43-56.
- IOELE, M., SANTAMARÍA, U. y TIANO, P. (2002). Studio comparativo di silicati di etile commerciali e sperimentali a conforto con microemulsioni acriliche per il consolidamento di matrici carbonatiche fortemente decoese. *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento deo manufatti storici*. Padua: Il Prato.
- MARCONELL, E. (1892a). "Los toros de la Losilla". En *Miscelánea Turolense*, 9. Año II: 160. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARCONELL, E. (1892b). "Los toros de la Losilla". En *Miscelánea Turolense*, 10. Año II: 180. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARTÍNEZ-BEA, M. (2005). *Variabilidad estilística y distribución territorial del arte rupestre levantino en Aragón: El ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel)*. Tesis doctoral [inédita]. Universidad de Zaragoza.
- MARTÍNEZ-BEA, M. (2008). "Arte rupestre de Albarracín: la excepcionalidad de un conjunto interior". En *IV Congreso de Neolítico Peninsular*. Alicante: Museo Arqueológico Provincial de Alicante (MARQ), 141-148.
- MELGOSA, M.; GÓMEZ, M. D. M. P.; YEBRA, A. et al. (2001). "Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color", *Óptica pura y aplicada*, 34 (1), 1-10.
- MOL, L., GÓMEZ-HERAS, M., BRASSEY, C. et al. (2017). "The Benefit of a tough skin: bullet holes, weathering and the preservation of heritage", *The Royal Society open sci*, 4, 160335. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsos.160335>
- MOSQUERA, M. J., DE LOS SANTOS, D. M., MONTES, A. et al. (2008). "New nanomaterials for consolidating Stone", *Langmuir*, 24, 2772-2778. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/la703652y>
- MOSQUERA, M. J. (2013). "Nuevos productos para restauración y conservación del Patrimonio Cultural RIIPAC". En *Revista sobre Patrimonio Cultural: Regulación, Propiedad Intelectual e Industrial*, 2, 153-172. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/riipac/03/index.htm>
- NAIDU, S., LIU, C. y SCHERER, G. W. (2015). "Hidroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants", *Journal of Cultural Heritage*, 16, 94-101. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsos.160335>
- OSCA, J. (2005). "El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos".

En *Seminario sobre restauración de pinturas murales. Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales.* Aguilar de Campoo: Fundación Santa María la Real- C.E.R.

PEÑA, J. L., SÁNCHEZ, M. y LOZANO M. V. (2010). "Aspectos generales de la geomorfología de la Sierra de Albarracín". En *Las formas de relieve de la Sierra de Albarracín.* Teruel: Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín, 39-60.

PIÑÓN, F. (1982). *Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel).* Santander: Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira, Disponible en: <http://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:46caa643-0a52-4138-9f22-ca2fb3adf497/pdf06-pinon-1982-pinturas-rupestres-albarracin.pdf>

REMZOVA, M., CARRASCOSA, L. A. M., MOSQUERA, M. J. et al. (2019). "Modified Ethysilicates as Efficient Innovative Consolidants for Sedimentary Rock", *Coatings*, 9 (6), 1-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings9010006>

SAMANIEGO, I. y ZORNOZA-INDART, A. (2020). "Influencia del método de aplicación en la consolidación con nanopartículas de sílice (SiO_2): arenisca del claustro de la Catedral de Pamplona", *Ge-conservación*, 17, 100-113. Disponible en: <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.698>

SERRANO, C., ZALBIDEA, M. A. y BEA, M. (2021). "Propuesta de protocolo de consolidación para el arte rupestre levantino. El caso práctico del abrigo de los Toros del Prado del Navazo (Albarracín)". En *I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural.* Valencia: Editorial UPV, 197-204. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/icomos2019.2020.11715>

SERRANO, C. (2021). *Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino. El abrigo de Los Toros del Prado del Navazo, Albarracín (Teruel).* Trabajo Final de Máster. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/158883>

SIERRA-FERNANDEZ, A., GÓMEZ-VILLALBA, L., RABANAL, M. et al. (2017). "Revisión de los nuevos nanomateriales para la conservación y restauración del material pétreo", *Materiales de Construcción*, 67 (325), e107. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.07616>

VILLASECA, C. (1996). "Rocas ígneas y metamórficas: características petrológicas generales". En *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*, Mingarzo, F. (aut.). Madrid: Editorial complutense.

VILLAVERDE, V., MARTÍNEZ, R., GUILLEM, P., et al. (2012). "What do we mean by Levantine rock art?". En *The Levantine Question: Post-Paleolithic Rock Art in the Iberian Peninsula.* Budapest: Archaeolingua, 81-115.

VILLEGAS, R., BAGLIONI, R. y SAMEÑO, M. (2003). "Tipología de materiales para tratamiento". En *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos.* Granada: Comares e Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 168-193.

WEISS, N., SLAVID, I. y WHEELER, G. (2000). "Development and assessment of conversion treatment for calcareous Stone". En *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (vol. 2). Amsterdam: Elsevier, 533-540.

WHEELER, G. (2005). *Alkoxysilanes and the consolidation of stone.* Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

ZALBIDEA, M. A. y GASQUE, R. (2020). "Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivas (Albarracín, Teruel)". En *El Arte Rupestre del Arco del Mediterráneo de la Península Ibérica. 20 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO.* Alcoy: Generalitat Valenciana, 145-154. https://www.researchgate.net/publication/342355317_Analisis_preventivos_para_la_Conservacion_y_Restauracion_del_Abrigo_de_los_Toros_del_Barranco_de_las_Olivanas_Albaracín_Teruel

ZALBIDEA, M. A., BARREDA, G., GASQUE, R. et al. (2019). "Estudios colorimétricos como método de conservación preventiva en abrigos con pintura rupestre". En *Sociedades prehistóricas y manifestaciones artísticas. Imágenes, nuevas propuestas e interpretaciones.* Alicante: Universitat d'Alacant, Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigación en Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH), 321-328. <https://hi.es1lib.org/book/11716321/58f312>

Autor/es



Claudia Serrano Aranda

clausera@unizar.es

Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA)

<https://orcid.org/0000-0002-3498-8374>

Contratada predoctoral por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales con la especialidad de pintura. Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València (UPV). En 2021 su investigación ha sido premiada por el comité *Chemical Nanoscience and Nanotechnology* de la Royal Society of Chemistry. Actualmente desarrolla su Tesis Doctoral sobre el análisis y desarrollo de un Plan de Conservación preventiva para arte rupestre Levantino.



María Antonia Zalbidea Muñoz

manzalmu@crbc.upv.es

Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0003-2159-3215>

Doctora en Bellas Artes. Especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. 2 sexenios de investigación (concedidos por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación Española). Ha participado en 12 Proyectos I+D+i competitivos y en 13 Proyectos I+D+i no competitivos. Actualmente es Advisory

Committee en el proyecto Europeo *Breaking barriers between science and heritage approaches to Levantine rock art through archaeology, heritage science and IT* (LArcHer), con la dirección de Inés Domingo Sanz (ICREA, Barcelona). El proyecto es reconocido como *Consolidator Grants* del Consejo Europeo de Investigación.

**Manuel Bea Martínez**manubea@unizar.es

Universidad de Zaragoza. Instituto de Patrimonio y Humanidades (IPH)

<https://orcid.org/0000-0002-2841-3347>

Doctor en Prehistoria por la Universidad de Zaragoza y Máster Universitario en Gestión de Patrimonio Cultural por la misma universidad. Ha sido investigador postdoctoral en las Universidades de Zaragoza y Jaume I de Castellón y realizado estancias de investigación en la University of New Mexico, Valencia, Politécnica de Madrid y en Sharja Archaeological Authority (Emiratos Árabes Unidos). Ha dirigido dos proyectos de investigación (uno nacional y otro autonómico) y participado en más de 15 proyectos tanto nacionales como internacionales. Es autor de más de 150 publicaciones científicas. En la actualidad es Profesor Contratado Doctor de Prehistoria en la Universidad de Zaragoza y miembro fundador del Comité Científico de Arte Rupestre de ICOMOS España.

Artículo enviado 13/09/2021
Artículo aceptado el 05/11/2022

<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1045>