

Propuesta de conservación-restauración para el conjunto con arte rupestre Levantino de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel, España)

Conservation-restoration proposal for the Levantine rock art site of Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel, Spain)

Serrano Aranda, Claudia; Zalbidea Muñoz, María Antonia

 Claudia Serrano Aranda
clauserar@unizar.es
Universidad de Zaragoza, España
María Antonia Zalbidea Muñoz
Universitat Politècnica de València, España

Anuario TAREA
Universidad Nacional de San Martín, Argentina
ISSN: 2469-0422
ISSN-e: 2362-6070
Periodicidad: Anual
núm. 8, 2021
atarea@unsam.edu.ar

Recepción: 14 Junio 2021
Aprobación: 19 Agosto 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/614/6142697026/>

Copyright Anuario TAREA 2021



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Resumen: El uso de productos poco respetuosos con los materiales originales aplicados en intervenciones de conservación y restauración, determinan la necesidad de buscar nuevas perspectivas de estudio para el arte rupestre. Su situación al aire libre, las propiedades geológicas del soporte pétreo y los agentes de degradación extrínsecos exponen a los conjuntos a un riesgo continuo. El objetivo de este trabajo reside en establecer pautas de estudio y evaluación en los procesos y materiales de consolidación para el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín), que además permitan ser implementadas en enclaves similares. Junto a un exhaustivo análisis historiográfico sobre el estado de la cuestión centrado en intervenciones realizadas en arte rupestre postpaleolítico, llevamos a cabo un análisis profundo del abrigo. Se ha realizado una definición precisa de su estado de conservación mediante técnicas analíticas, lo que permite proponer un tratamiento de consolidación específico a través de productos compatibles con los materiales originales. Se realizaron análisis de laboratorio, mediante distintas técnicas instrumentales y ensayos rigidos por normativas tecnológicas (UNE-ASTM), que permitieron conocer el comportamiento de determinados productos consolidantes tradicionales frente a los nuevos productos realizados con nanopartículas.

Palabras clave: Arte Levantino, Consolidación, Conservación-restauración, Sierra de Albarracín, Patrimonio mundial.

Abstract: The use of products that aren't very respectful with the original materials applied in conservation and restoration interventions, determine the need to seek new perspectives for the study of rock art. Their location in the open air, the geological properties and the extrinsic agents of degradation expose the sites to a continuous risk. The aim of this work is to establish guidelines for the study and evaluation of consolidation processes and materials for Los Toros del Prado del Navazo shelter (Albarracín), which can also be implemented in similar sites. In addition to an exhaustive historiographical analysis of the state of the art focused on post-palaeolithic rock art interventions, we carried out an in-depth analysis of the

shelter. A precise definition of its state of conservation has been carried out, using analytical techniques, which allows us to propose a specific consolidation treatment using products compatible with the original materials. Laboratory analyses were carried out, using different instrumental techniques and tests governed by technological standards (UNE-ASTM), which allowed us to determine the behavior of certain traditional consolidation products compared to the new products made with nanoparticles.

Keywords: Levantine Rock Art, Consolidation, Conservation-Restoration, Albarracín Mountain Range, World Heritage.

PROPUESTA DE CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN PARA EL CONJUNTO CON ARTE RUPESTRE LEVANTINO DE LOS TOROS DEL PRADO DEL NAVAZO (ALBARRACÍN, TERUEL, ESPAÑA)

Claudia Serrano Aranda

Dpto. Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza

clouserar@unizar.es

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

María Antonia Zalbidea Muñoz

Dpto. Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València

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

Manuel Bea Martínez

Dpto. Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza

manubea@unizar.es

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

Resumen

El uso de productos poco respetuosos con los materiales originales aplicados en intervenciones de conservación y restauración, determinan la necesidad de buscar nuevas perspectivas de estudio para el arte rupestre. Su situación al aire libre, las propiedades geológicas del soporte pétreo y los agentes de degradación extrínsecos exponen a los conjuntos a un riesgo continuo. El objetivo de este trabajo reside en establecer pautas de estudio y evaluación en los procesos y materiales de consolidación para el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín), que además permitan ser implementadas en enclaves similares. Junto a un exhaustivo análisis historiográfico sobre el estado de la cuestión centrado en intervenciones realizadas en arte rupestre postpaleolítico, llevamos a cabo un análisis profundo del abrigo. Se ha realizado una definición precisa de su estado de conservación mediante técnicas analíticas, lo que permite proponer un tratamiento de consolidación específico a través de productos compatibles con los materiales originales. Se realizaron análisis de laboratorio, mediante distintas técnicas instrumentales y ensayos regidos por normativas tecnológicas (UNE-ASTM), que permitieron conocer el comportamiento de determinados productos consolidantes tradicionales frente a los nuevos productos realizados con nanopartículas.

Palabras clave: Arte Levantino; Consolidación; Conservación-restauración; Sierra de Albarracín; Patrimonio mundial

Conservation-restoration proposal for the Levantine rock art site of *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel, Spain)

Abstract

The use of products that aren't very respectful with the original materials applied in conservation and restoration interventions, determine the need to seek new perspectives for the study of rock art. Their

location in the open air, the geological properties and the extrinsic agents of degradation expose the sites to a continuous risk. The aim of this work is to establish guidelines for the study and evaluation of consolidation processes and materials for *Los Toros del Prado del Navazo* shelter (Albarracín), which can also be implemented in similar sites. In addition to an exhaustive historiographical analysis of the state of the art focused on post-palaeolithic rock art interventions, we carried out an in-depth analysis of the shelter. A precise definition of its state of conservation has been carried out, using analytical techniques, which allows us to propose a specific consolidation treatment using products compatible with the original materials. Laboratory analyses were carried out, using different instrumental techniques and tests governed by technological standards (UNE-ASTM), which allowed us to determine the behavior of certain traditional consolidation products compared to the new products made with nanoparticles.

Key words: Levantine Rock Art; Consolidation; Conservation-Restoration; Albarracín Mountain Range; World Heritage

Fecha de recepción: 14/06/2021

Fecha de aceptación: 19/08/2021

Introducción

La Serranía de Albarracín cuenta con una amplia representación de manifestaciones levantinas repartidas en los municipios de Albarracín, Bezas y Tormón, muchas de las cuales forman parte del Bien ARAMPI^[1] además de ser Patrimonio Mundial por la UNESCO desde 1998. El interés de estos conjuntos, su temprano descubrimiento y las singularidades que presentan (estilo, temática, distribución de los abrigos, localización de los paneles, color, técnica, convenciones, etc.) ha determinado que la tradición investigadora haya sido igualmente prolíja.^[2] La aplicación de nuevas tecnologías en la documentación del arte rupestre, abundantes nuevos descubrimientos y la aplicación de campos de estudio específicos (como el que nos ocupa) ha generado que en los últimos años la investigación en la zona haya contado con un nuevo impulso.^[3]

En lo relativo a estudios de conservación en Aragón, pese a que se iniciaron algunos mediante la monitorización del arte rupestre^[4] y se realizaron propuestas específicas de intervención,^[5] aún resultan escasos, siendo todavía más exiguas las aproximaciones científicas centradas en la temática, con la excepción de escasas intervenciones puntuales.^[6]

En este contexto global, se debe tener en cuenta que una de las características de las pinturas levantinas es su localización en abrigos al aire libre, lo que incide directamente en el estado de conservación, lo que favorece su degradación.^[7] En este momento es importante comprender que estos bienes patrimoniales forman parte de una pinacoteca abierta a la adversidad climatológica y al estar adscritos en esa localización, requieren de propuestas de intervención concretas y estudiadas que garanticen un equilibrio entre los materiales originales y su entorno para conservar la esencia que los caracteriza.

Dado que los soportes pétreos experimentan cambios naturales propios de su evolución geológica, junto a otros factores extrínsecos de diversa naturaleza que contribuyen igualmente a su deterioro, el estudio concreto de sus características y afecciones requiere de una especial atención. Así, con el fin de contribuir a la conservación preventiva y avanzar en el estudio de las intervenciones de los enclaves con manifestaciones rupestres, el presente estudio presenta una propuesta de consolidación superficial del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*, como ejemplo concreto de un protocolo susceptible de ser extrapolado a otros conjuntos rupestres.

El abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*

Dentro de las numerosas manifestaciones artísticas que atesora la serranía de Albarracín, *Los Toros del Prado del Navazo* aparece como uno de los conjuntos más relevantes. Este abrigo junto al de *La Cocinilla del Obispo* suponen el descubrimiento “no oficial” del arte Levantino.^[8] Con la sucesión de nuevos hallazgos en diferentes puntos de la geografía peninsular, H. Breuil incluyó la zona de Albarracín en sus investigaciones,

y asoció como colaborador al *Institut de Paléontologie Humaine* a J. Cabré, quien inspeccionó el territorio en busca de nuevos conjuntos. El propio Cabré publicó el *Catálogo artístico-monumental de la provincia de Teruel*, con referencias a los enclaves de Albarracín e incluyó fotografías de los abrigos y los primeros calcos de los conjuntos.^[9] El reconocimiento científico del núcleo rupestre que nos ocupa llegaría primero con la publicación en *L'Anthropologie*^[10] y poco después con la que sería la primera monografía de la Comisión de Ciencias Paleontológicas y Prehistóricas, dedicada al *Arte rupestre en España*,^[11] en la que se define a las pinturas del Prado del Navazo como las más importantes de los tres abrigos conocidos hasta el momento de la Sierra de Albarracín.

En 1924, la *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas* del Museo Nacional de Ciencias Naturales encargó a F. Benítez Mellado la confección de un calco de las pinturas, trabajos que fueron dirigidos por Hernández-Pacheco dentro del proyecto que el investigador estaba llevando a cabo en los abrigos de *La Araña*.^[12] Pasó bastante tiempo hasta que se realizó una nueva documentación, en este caso fotográfica, dentro del denominado *Corpus de Arte Rupestre Levantino* dirigida por M. Almagro.^[13]

Pese a que el conjunto es citado en diversos trabajos de investigación en los que sería sujeto y objeto de ciertos análisis que han alimentado el debate acerca, esencialmente, de la cronología del arte Levantino,^[14] el estudio más completo publicado hasta el momento es el realizado por F. Piñón,^[15] quien llevó a cabo una documentación exhaustiva y descripción actualizada de los motivos. Una revisión posterior del abrigo fue realizada por O. Collado y su equipo,^[16] siendo sólo citado, con posterioridad, en publicaciones de síntesis.^[17] Recientemente, se han llevado a cabo diferentes campañas de documentación en los conjuntos de la Sierra de Albarracín, donde se ha acometido una documentación integral de diferentes abrigos, entre los que se encuentra *Los Toros del Prado del Navazo*,^[18] además de otros estudios que han estado centrados en la conservación-restauración basados en las propuestas de mecanismos de conservación preventivos mediante diferentes metodologías: documentación fotográfica exhaustiva, elaboración de mapas de alteraciones, mediciones ambientales, mediciones colorimétricas, control microbiológico y calidad del aire.^[19]

Descripción básica del abrigo

El arte rupestre de la Sierra de Albarracín (Teruel, España) constituye un núcleo artístico con rasgos temáticos, técnicos y estilísticos propios compartidos por los conjuntos rupestres localizados en su geografía. A su vez, se constituye como uno de los núcleos rupestres más importantes y singulares de todo Aragón al contener conjuntos de estilos y cronologías diversos y poder ser considerado como una especie de territorio bisagra, que se complementa con la multitud de otros hallazgos de similares condiciones localizados en el colindante territorio de Castilla-La Mancha. Pero son las singularidades (en cuanto a convenciones estilísticas, dimensiones, disposición de los motivos, distribución de los motivos en los abrigos y repartición de los conjuntos en el territorio) lo que confieren a todo este grupo artístico una consideración especial y específica, aún dentro del denominado ciclo Levantino, y que ha sido ya referida en diversos estudios previos.^[20] El conjunto específico que centra este estudio fue objeto, además, de la primera noticia oficial conocida acerca del ciclo artístico Levantino.^[21]

El abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* se localiza a 1.340 m snm, en la zona conocida como El Pinar, con orientación al NW. Resulta perfectamente accesible desde el núcleo urbano de Albarracín, no sólo por su cercanía sino también por la reciente adecuación de accesos y señalización efectuada en la zona (**Fig. 1**). El abrigo se abre en una formación tabular de grandes dimensiones que los agentes erosivos han esculpido, lo que hace que adopte los característicos diseños del rodano de Albarracín. La formación rocosa se funde entre los altos pinares que rodean el abrigo, a cuyos pies se desarrolla una barranquera, no demasiado abrupta, aunque de notables dimensiones, que parece conducir al visitante al denominado Prado del Hostal, una extensión

abierta y plana de la que recibe el nombre el propio abrigo. Las pinturas aparecen bien protegidas por un alero rocoso, mientras que el friso decorado adopta la forma de una especie de telón bajo el que se desarrolla una pequeña cavidad natural. La superficie decorada ocupa una extensión de 4,2 metros de longitud, con una altura media respecto al suelo natural de 1,4 metros. El abrigo cuenta con un cerramiento tipo “jaula” con paredes de piedra y cemento que cierran completamente los laterales del mismo, siendo sólo accesible por la parte frontal.

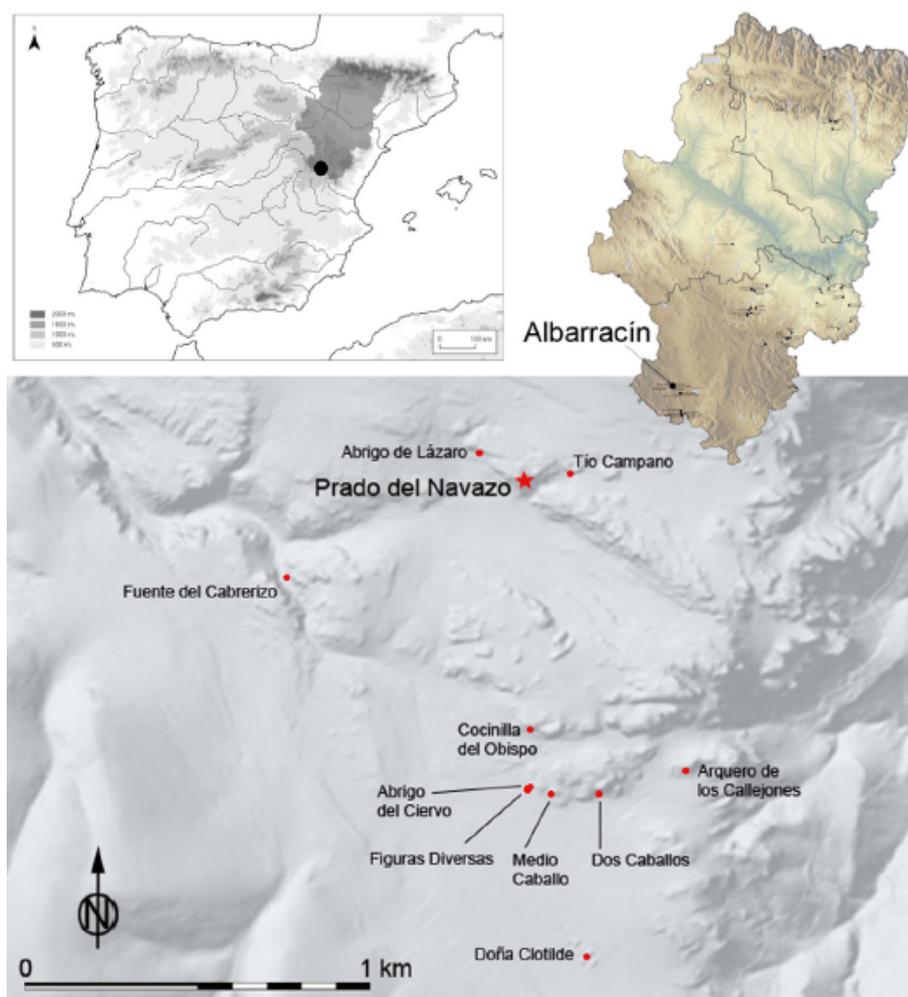


FIGURA 1

Mapa de localización del abrigo de Los Toros del Prado del Navazo en la Sierra de Albarracín.

Las pinturas aparecen todas conformando un único panel o unidad topográfica en la que se hicieron hasta 19 representaciones, de las que nueve corresponden a bóvidos, cinco a antropomorfos, una a un équido y cuatro a zoomorfos indeterminados. Sin duda, las representaciones más destacables son las de los grandes bóvidos que llegan a alcanzar casi 70 centímetros de longitud y que, al igual que el resto de figuras del abrigo (con la excepción de un bóvido y un arquero), fueron realizadas en una tonalidad blanco-amarillenta (Fig. 2). Los motivos humanos presentan unas convenciones más tendentes a la estilización que al naturalismo de los bovinos, así como unas dimensiones mucho menores que estos, alcanzando los 16,4 cm el mayor de aquellos. El soporte de las pinturas es de tonalidad rojiza, cuya composición química corresponde a areniscas triásicas, conocidas como rodano (Fig. 3). Esta roca es de naturaleza sedimentaria, condición que influye directamente en su evolución y, por tanto, determina su estado de conservación. En todos los casos las representaciones fueron realizadas mediante tinta plana, sin que resulte posible distinguir el perfilado del relleno interior de las figuras, apreciándose una capa densa pero bien distribuida que cubre completamente la superficie pintada. En

ningún caso es posible advertir la existencia de pátinas diferenciadas según motivos, encontrando un patrón de homogeneidad no sólo para todos ellos sino también en el global de la superficie rocosa.

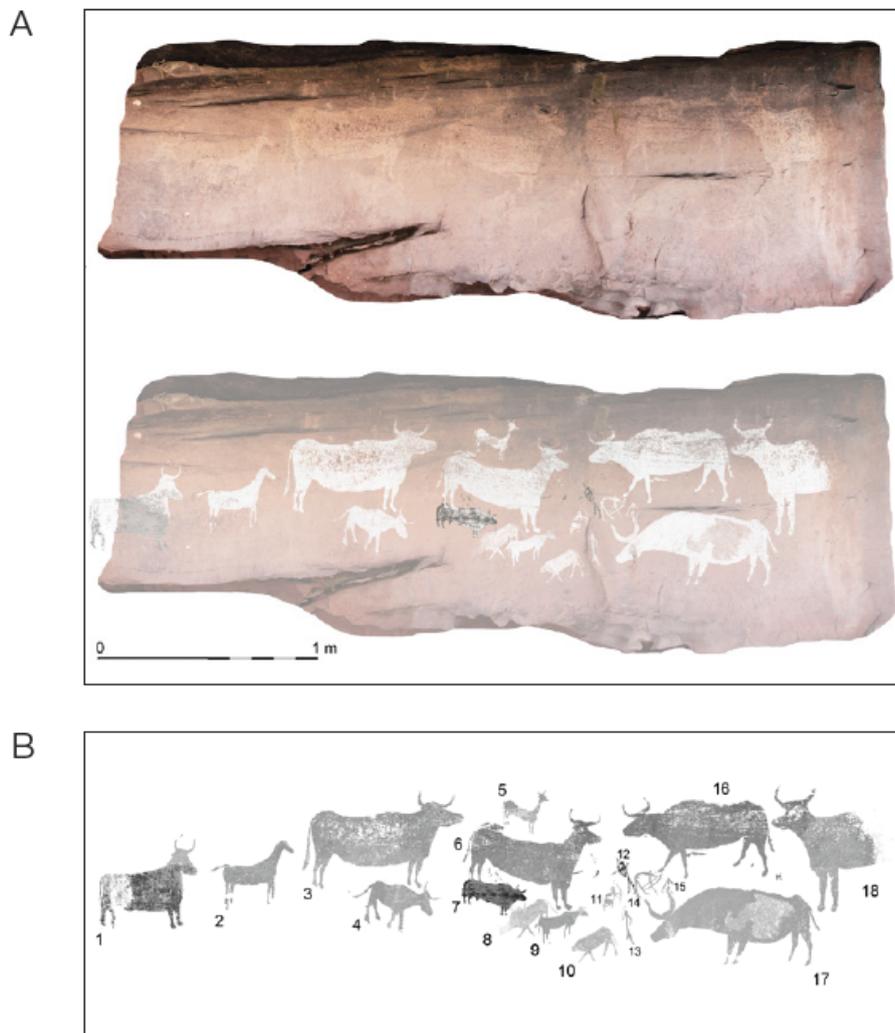


FIGURA 2

(A) Abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Ortografía);(B y C) Calcos digitales.

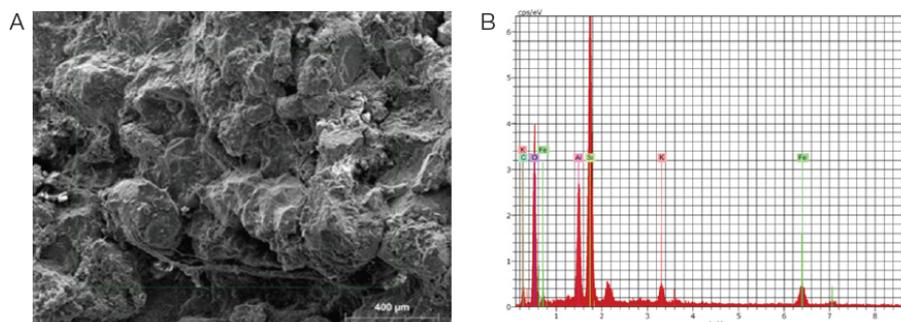


FIGURA 3

(A) Soporte pétreo. SEM, Hitachi® S-4800 (SCSIE, UV). 70x, 20,0 kV. (B) Espectro del microanálisis de la Figura 2 (A) realizado con el programa Quantax® 400.

Las convenciones estilísticas de estos bóvidos, si bien se adscriben a un componente naturalista, cuentan con una serie de elementos distintivos que dotan al conjunto de un carácter único. Así, los cuernos fueron

representados en perspectiva torcida con una típica morfología en creciente lunar, con cuerpos muy alargados y cortas patas que producen una cierta sensación de desproporción. Asimismo, merece ser destacado el evidente proceso de acumulación figurativa en diferentes momentos del abrigo. Así, algunas representaciones, sobre todo los antropomorfos realizados con pigmento blanco parecen ocupar el espacio vacío dejado entre las figuras de bóvidos. Sin embargo, no ocurriría lo mismo con el toro y el arquero pintados en negro, para los que se ha apuntado que podrían confirmar una escena venatoria previa las representaciones de tonalidad blanquecina.^[22]

La composición del conjunto, los particularismos de los rasgos morfológicos de las figuras, las dimensiones y el cromatismo invitan a pensar en que la confección del panel decorado puede resultar muy compleja. Así, se aprecian, al menos, tres fases de ejecución diferenciadas: una compuesta por la posible escena de caza representada por un arquero y un toro negros, en la que se aprecia una flecha negra infrapuesta al pecho de un toro blanquecino; y otras dos fases, para las que no es posible proponer una ordenación entre ambas, siquiera relativa, dada la ausencia de superposiciones, y que estaría conformada por las grandes representaciones de bovinos que ocupen prácticamente la totalidad del panel del abrigo en una distribución horizontal, y otra fase con las figuraciones de toros de menores dimensiones, aunque de igual tonalidad blanquecina, que aparecen agrupados en la parte baja y central del panel. A esta misma fase, o quizá a una cuarta diferenciada (sin ordenación temporal relativa concluyente con respecto a las anteriores), pertenecerían las representaciones de arqueros de color blanco, también agrupados en la zona central del abrigo, aunque sin aparente relación con la manada de toros de menores dimensiones a los que no dirigen su atención. Por el contrario, los arqueros parecen haber sido realizados en función del espacio existente entre las manifestaciones de toros de grandes dimensiones de la zona derecha del panel, por lo que nos encontraríamos ante una escena de acumulación en la que los arqueros serían añadidos en un momento indeterminado posterior a la factura de los grandes bovinos referidos.

La gran complejidad del fenómeno Levantino, si bien ha servido para que encontrara acomodo dentro de la declaración del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica como Patrimonio Mundial, hace que, hasta el momento, no contemos con una ordenación cronológica absoluta para el mismo.^[23] Esta indefinición, marcada por el uso exclusivo de materiales minerales (y no datables por C)¹⁴ en su realización, ha determinado la aparición de diferentes propuestas crono-culturales para el arte Levantino, desde aquellas que proponían un origen Paleolítico hasta otras que, aún coincidiendo en una cronología holocena, difieren en su asignación concreta. Así, se ha propuesto un origen y desarrollo del arte Levantino exclusivamente Epipaleolítico; un origen en sociedades caza-recolectoras con un desarrollo cronológico más o menos amplio que le llevaría a coexistir con grupos de economía productora; y un origen y desarrollo en sociedades ya plenamente neolíticas con una evolución que podría llevar a desarrollar sus últimas fases en momentos propias del Calcolítico y Edad del Bronce. Sin embargo, el caso del arte rupestre de la Sierra de Albarracín presenta una serie de características que, habiendo sido tratadas de forma global en relación con su cronología en otros trabajos,^[24] han sido recientemente reinterpretadas para contemplar la posibilidad de un panorama artístico postpaleolítico mucho más abierto (y complejo) que apunta a la existencia de diferentes ciclos artísticos independientes de uno único Levantino.^[25]

Metodología empleada

Para llevar a cabo una metodología de consolidación superficial específica, ha sido necesario un estudio previo de la documentación existente para conocer el contexto histórico del enclave y de las intervenciones realizadas. Tras este análisis se ha realizado una investigación empírica basada en los siguientes campos.

Monitorización del abrigo y análisis de su estado de conservación

Estudio realizado gracias a la instalación de un dispositivo *datalogger Log® 32 TH* en el interior del abrigo con el fin de controlar la humedad relativa (HR), la temperatura (T^a) y el punto de rocío (DP) con el fin de evaluar el impacto de las variaciones termohigrométricas en el conjunto y analizar el futuro

funcionamiento de los productos consolidantes. No obstante, para tener un control más riguroso de los parámetros mencionados, en cada una de las visitas realizadas al abrigo se llevaron a cabo mediciones puntuales superficiales por contacto con *Neurtek*® 01-37161 para comprobar la humedad relativa y con *Tescoma*® 420910 para la temperatura. De este modo se pudo valorar el riesgo que puede correr el soporte de experimentar shock térmico.

Al estudio de los diferentes parámetros físicos se añadió la medición de la incidencia lumínica mediante el luxómetro *Milwaukee*® SM770, con el fin de obtener datos sobre la conservación a nivel cromático y físico-químico de las pinturas. Además, se tomaron datos colorimétricos mediante el colorímetro *X-Rite*® *Eye-One Defined* con sistema CIEL*a*b* y la ayuda del software *i1Profiler*®, cuyos datos se procesaron con *Microsoft*® *Excel 2010*, y siguiendo la normativa UNE-EN 15886:2011 (*Conservación del patrimonio cultural. Método de ensayo. Medición de color de superficies*). Se calculó la diferencia de color total (ΔE^*) mediante la siguiente fórmula:

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

Este ensayo permite establecer comparativas cromáticas cuando se aplican tratamientos de restauración, y en caso de no aplicar tratamientos, sirve como herramienta preventiva para el control del seguimiento de su deterioro.^[26]

Caracterización de los materiales

La caracterización de los materiales se realizó sobre fragmentos pétreos desprendidos del abrigo con el fin de respetar al máximo el soporte y las pinturas.^[27]

El estudio del soporte tuvo lugar, por un lado, con microscopio estereoscópico (MEST) *Leica*® *MZ APO* para estudiar sus propiedades morfológicas. Se trabajó en condiciones de iluminación episcópica ordinaria (no polarizada) con brazos articulados bajo un sistema óptico reflejado. Este modo de trabajo permitía un examen directo de las muestras. El estudio fue realizado en el *Servicio de Microscopía Electrónica* de la *Universitat Politècnica de València* (UPV en adelante). Por otra parte, se determinó la naturaleza química elemental del material mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X (SEM-EDX) *Hitachi*® *S-4800* trabajando a 1 keV ya que las muestras no se metalizaron. Estudio llevado a cabo en el *Servei Central de Suport a La Investigació Experimental* (SCSIE) de la *Universitat de València* (UV).

Selección y testado de productos consolidantes

Gracias a los resultados obtenidos en SEM-EDX, que revelaron la naturaleza silíceo del soporte, se seleccionaron los siguientes consolidantes: *Wacker*® *OH100*, *Tecnadis*® *Solidus*, *NanoEstel*® y *Nanorestore*®. Los productos seleccionados fueron testados para seleccionar la metodología de aplicación en las probetas definitivas. En este estudio previo se determinó la concentración de productos, el número de capas a aplicar y el modo de aplicación de los mismos: *wet on dry* o *wet on wet*, haciendo referencia el primero a la aplicación de capas de consolidante tras el secado de las mismas y el segundo a la aplicación de capas sobre capas recién aplicadas de consolidante o de disolvente. Evaluación realizada mediante: microscopía digital con *DigiMicroscope USB Reflecta*® y análisis colorimétrico (proceso explicado anteriormente).

Técnicas instrumentales analíticas y normativas tecnológicas

Los productos fueron aplicados en tres capas tanto en probetas, que posteriormente se sometieron a ensayos, como *in situ* (en una zona cercana al abrigo) mediante el método *wet on wet*. Las probetas utilizadas proceden de material pétreo descontextualizados de los sectores aledaños al enclave. Los consolidantes aplicados en probetas fueron sometidos a los siguientes ensayos:

- Evaluación de los cambios cromáticos mediante colorimetría con *X-Rite*® *Eye-One Defined* y la ayuda del software *i1Profiler*®, cuyos datos se procesaron con *Microsoft*® *Excel 2010*.

- Ensayo de envejecimiento acelerado con variaciones de temperatura y humedad relativa, según la norma ASTM D1183-03 (*Standard Practices for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions*).

Se utilizó la cámara climática *Binder® KMF240* y el estudio se realizó en el *Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales* de la UPV. Se evaluaron los cambios en la morfología superficial por comparación antes y después de los ciclos de envejecimiento con microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX). Asimismo se realizaron mediciones colorimétricas para determinar posibles modificaciones cromáticas tras los ciclos de envejecimiento.

● Ensayo de absorción de agua por capilaridad según la norma UNE-EN 15801:2010 (*Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad*).

De un modo paralelo se evaluaron los productos consolidantes *in situ* mediante colorimetría (siguiendo la metodología explicada anteriormente) y mediante microscopía digital. El análisis colorimétrico se realizó previo a la aplicación de los productos consolidantes y seis meses después de su aplicación.

Estado de conservación

La propia naturaleza del rodano determina el estado de conservación de las pinturas, por lo que es importante tener en cuenta que los abrigos al aire libre son susceptibles de un deterioro mayor en comparación con los conjuntos kársticos del interior. Así pues, el tipo de roca y la composición química del *Prado del Navazo* y del resto de conjuntos rupestres con el mismo soporte, experimentan procesos de haloclastismo y disolución de sílice provocando la meteorización del soporte dando lugar a descamaciones, disgregaciones granulares y eflorescencias salinas.^[28] Estos procesos, que son irreversibles, afectan directamente a la conservación de las pinturas contribuyendo a un estrés mecánico y físico continuo. Unido a estos mecanismos señalados, la acción eólica ha provocado erosión alveolar conocida como tafonias (Fig. 4.A). Aunque el proceso de transformación de la roca es continuo y lento, podría ser que muchas de estas alteraciones ya estuvieran presentes en el momento que se pintaron los motivos.^[29] Por ello, es importante conocer no sólo aquellos factores intrínsecos señalados, sino los factores extrínsecos que influyen de manera directa e indirecta sobre su conservación.

El abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* presenta una serie de patologías provocadas por agentes ambientales. Cabe destacar la acción del agua libre que ha deteriorado uno de los motivos a través de una escorrentía que filtraba agua desde el voladizo del enclave, y que disolvió, a su paso, parte del soporte y de la película pictórica de uno de los bóvidos (Fig. 4.B). Como consecuencia se disolvieron y cristalizaron sales, lo que provocó la aparición de concreciones, costras calcáreas y de sulfatos de calcio.^[30] Otro fenómeno hídrico importante es el procedente de la ascensión capilar del agua contenida en el subsuelo, que penetra por los conductos capilares del muro de cerramiento. Esta agua acarrea sales que cristalizan cuando desciende la humedad provocando un aumento de volumen de la superficie y emanan hacia el exterior eflorescencias salinas que provocan, no sólo la deplacación de la piedra, sino que pueden ser transportadas a la superficie de las pinturas por la acción eólica (Fig. 4.C). Estas sales en la superficie tienen un comportamiento abrasivo y, además, pueden depositarse en los poros del soporte pudiendo producir su descamación en pequeñas lascas, especialmente en las areniscas.^[31]



FIGURA 4

Alteraciones presentes en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo: (A) Tafoni situado en la parte inferior del abrigo; (B) Escorrentía que ha provocado parte de la desaparición de uno de los bóvidos; (C) Eflorescencias salinas procedentes de ascensión capilar que afectan a los muros de cerramiento; (D) Posible pátina biológica; (E) Deyecciones de ave situadas en uno de los salientes del panel pintado; (F) Resina proyectada sobre el panel con pinturas.

Por otra parte, el abrigo presenta una alteración biológica centrada especialmente en la visera del abrigo. Esta alteración corresponde con una pátina biológica de aspecto negruzco (Fig. 4.D) y que podría corresponder a un líquen conocido como *Verrucaria nigrescens*,^[32] además la presencia de este líquen aparece documentada en *Abrigo Remacha* (Hoces del río Duratón, Segovia).^[33] La pátina formada por este microorganismo pudo descender desde la visera hacia la parte superior del abrigo, pudiendo, incluso, estar presente antes de la representación de las figuras, ya que destacan sobre el fondo negro. Otro daño causado por la pequeña fauna son las deyecciones de aves (Fig. 4.E), nidificaciones de arañas y la presencia de pequeños huevos (posiblemente de arácnido). La presencia de estos organismos provoca, no sólo alteraciones estéticas y químicas sino, también, alteraciones mecánicas.

Pese a que los agentes de degradación están presentes por la propia condición abierta los abrigos, en el *Prado del Navazo* en particular, cobran una gran importancia los agentes antrópicos, que se sitúan como uno de los factores degradantes que más afectan al enclave. Así, podemos constatar la presencia de numerosos grafitis que afectan no sólo a zonas secundarias como la visera, sino a las propias pinturas. Del mismo modo, se documentan restos de plomo procedentes de disparos de perdigones que han afectado a algunos de los motivos pintados. Igualmente se atisba la presencia de numerosas concreciones de resina, posiblemente proyectada, que afecta estéticamente al conjunto ocultando parte de algunos de los motivos pintados (Fig. 4.F). Significativo como agente de deterioro, aunque en un inicio dispuesto con la intención de proteger, se considera el propio cerramiento del abrigo, realizado en 1933. El vallado consta de dos muros laterales conformados por sillares de rodeno rejuntados con cemento. Este mortero ha invadido el *Motivo 1* (Fig. 2), hecho ya mencionado por Piñón.^[34] Además, a través de éste emanan sales en forma de eflorescencias y concreciones. Éstas, al igual que las procedentes de las sales que se transportan por capilaridad, podrían desplazarse como particulado a la superficie de las pinturas y ocasionar nuevos mecanismos de deterioro.^[35] También existen patologías derivadas de la práctica habitual de humedecer el soporte, no siempre con agua e incluso frotar las pinturas para visualizarlas mejor.^[36] Beltrán se hace eco de esta práctica argumentado que al evaporarse el líquido se forma una película de calcita que puede eliminarse con la pulverización de agua destilada.^[37] Esta práctica provoca la disolución de sales solubles presentes en el soporte que han precipitado sobre la superficie creando una veladura blanquecina generalizada y, en otros casos, concreciones salinas. Estas sales pueden proceder del líquido vertido o de la migración hacia el exterior de las sales del interior de la propia roca.^[38] Otros afirman que esta práctica ha podido disolver parte del aglutinante si no ha sido estabilizado por un proceso natural que lo haga insoluble.^[39]

En definitiva, el estado de conservación del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* es grave y poco homogéneo. Se puede determinar que los propios agentes intrínsecos presentes por su condición al aire libre, junto con las alteraciones extrínsecas, afectan irreversiblemente la preservación del conjunto, afectando de manera directa a la estabilidad del soporte y de las pinturas. Las pinturas aparecen damnificadas por diversas concreciones y acumulaciones detríticas que impiden una correcta visualización. Asimismo, ciertas zonas de la cavidad se encuentran en peligro de descohesión debido a su exposición continua a agentes de deterioro.

Los protocolos de intervención propuestos en el siguiente apartado se orientan a tratar de evitar o, al menos, minimizar la pérdida total o parcial del conjunto patrimonial.

Propuesta de tratamiento: la consolidación

Cualquier intervención de conservación-restauración requiere un estudio previo que determine, no sólo la naturaleza de los materiales constitutivos, el estado de conservación y los riesgos a los que está expuesto, sino que también debe valorar cuáles son los tratamientos que precisa un determinado bien y cómo será la efectividad de la intervención a medio y largo plazo. Es importante destacar la importancia de esa valoración inicial, precisamente porque se ha observado que las intervenciones realizadas en arte rupestre han sido intervenciones de urgencia. Esta circunstancia no permite una reflexión y un estudio exhaustivo que, además, aplique tratamientos, metodologías o productos predefinidos de la pintura mural “tradicional”.^[40]

Los tratamientos que se pueden realizar en el arte rupestre están destinados al control de los parámetros que desestabilizan su preservación y procedimientos directos que contribuyen a la estabilidad en el tiempo. Así, tratamientos como la consolidación pueden suponer la minimización de ciertos mecanismos de alteración que aceleran la degradación del soporte y las pinturas, consiguiendo que el impacto de los agentes de deterioro sea menor. La estabilización del soporte es un procedimiento complejo, por lo que en el estudio preliminar es necesario definir el nivel de consolidación que requiere cada bien en función del objetivo final. De modo que se pueden realizar diferentes procesos consolidativos: adhesión, fijación, consolidación o protección.^[41]

Aunque en el presente artículo nos centramos en el estudio del tratamiento encargado de fortalecer la superficie del soporte de las pinturas, consiguiendo que los clastos de la matriz rocosa recuperen la cohesión perdida en los estratos superficiales.

Desde la declaración de los conjuntos levantinos como Patrimonio Mundial las intervenciones de conservación-restauración se han visto incrementadas, aunque apenas aparecen recogidas en publicaciones, siendo todavía mucho más escasa la especificación de consolidantes empleados.^[42]

Pese a que se utilizan productos compatibles con el soporte pétreo, existe una elevada ausencia de rigurosidad en los procesos de documentación en los trabajos de conservación-restauración del arte Levantino, con información poco accesible. A la falta de datos se une el uso generalizado de resinas acrílicas (sin especificar), como en el abrigo de *Tortosilla* (Ayora, Valencia).^[43] Según documenta Ballester, se han utilizado otras resinas como *Paraloid® B72* diluido en xileno al 3% en *Cueva de La Serreta* (Cieza, Murcia), o el uso de esta misma resina en *Cova del Cavalls* (Tírig, Castellón), pero sin especificar disolvente ni concentración, datos que son esenciales.^[44] En cambio, estos productos orgánicos, aunque cuentan con la ventaja que son menos complejos de aplicar y su acción es más rápida,^[45] su estabilidad está cuestionada en diversas investigaciones.^[46]

Productos seleccionados

Los consolidantes utilizados en los tratamientos consolidativos han de ser compatibles químicamente con los materiales originales. Se han de seleccionar materiales y procedimientos adecuados y compatibles, teniendo en cuenta las propiedades de la roca, su estado de conservación, los factores ambientales y los mecanismos de degradación,^[47] además de contar con las siguientes características:^[48] valor consolidante, la alterabilidad de la roca consolidada debe ser inferior a la roca sin tratar, profundidad de penetración óptima, escasa modificación de la porosidad y de la distribución de tamaño de poro, capacidad de transferencia de humedad (permeabilidad al vapor de agua), compatibilidad con el soporte química, física y estéticamente, no modificar el aspecto óptico, mejorar las propiedades mecánicas del sustrato para ralentizar su deterioro y aumentar la durabilidad.

De entre los grupos de consolidantes (orgánicos, organosilíceos e inorgánicos), los más adecuados para consolidar un conjunto rupestre, por su compatibilidad con el soporte, son los inorgánicos, al presentar un comportamiento similar al material original. De naturaleza inorgánica también encontramos consolidantes constituidos por nanopartículas, que debido a su pequeño tamaño de partícula su área específica superficial es mayor, mejorando sus propiedades y características,^[49] y que, además, están teniendo un desarrollo exponencial en los últimos años en diferentes disciplinas científicas.

Por todo ello, para la consolidación superficial del abrigo de Albarracín se han estudiado consolidantes nanoparticulados como *Nanoestel®* y *Nanorestore®*, y para comprobar la diferencia de comportamiento se han estudiado los productos organosilíceos *Tecnadis® Solidus* y *Wacker® OH100*. Todos los productos citados tienen naturaleza silícea, salvo *Nanorestore®* que presenta una composición calcárea constituida por nanopartículas de hidróxido de calcio. Este producto ha sido incluido en esta investigación para evaluar su comportamiento sobre el posible estrato superficial calcáreo con el que está afectado el abrigo.

Testado de productos consolidantes

Previo a la aplicación de los consolidantes en las probetas para ensayos, se llevó a cabo un testado preliminar de los productos tanto en laboratorio como *in situ*. En el testado previo de los consolidantes determinó la metodología de aplicación (herramienta de aplicación, número de capas, concentración del principio consolidante) y el modo de trabajo (*wet on dry* o *wet on wet*) (**Tabla 1**).^[50] Esta valoración se realizó mediante la observación a través microscopía digital (*DigiMicroscope USB Reflecta®*) y mediante colorimetría (*X-Rite® Eye-One Defined*).

	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 silícico	Éster etílico de ácido silícico	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 destilada	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 triásica (rodeno)

Resultados y discusión

Parámetros físicos: datos obtenidos con datalogger Log® 32 TH

Las variaciones termohigrométricas registradas en el interior del abrigo están documentadas en la **Figura 5**.

Se puede observar que los valores más altos de humedad relativa (HR) se concentran entre los meses de marzo-junio, llegando a registrarse una humedad relativa de 71,3%. El incremento de la humedad relativa se debe a que las temperaturas son más bajas, siendo la mínima 4,5 °C, evidenciando que la humedad relativa es un parámetro inversamente proporcional a la temperatura. De hecho, cuando la humedad relativa es más baja (7,3%) coincide con el pico más alto de temperatura (25,7 °C) registrado en el mes de julio manteniéndose, más o menos estable, hasta septiembre. Aunque los descensos e incrementos son perceptivos en los meses medidos, no existen variaciones bruscas.

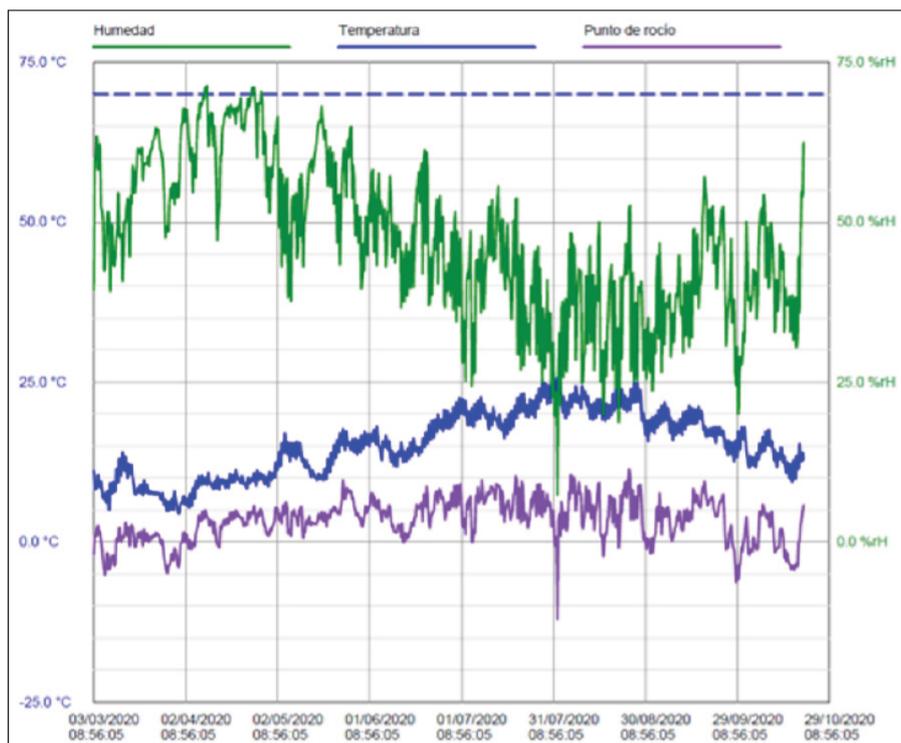


FIGURA 5

Parámetros registrados en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo desde el 3/03/2020 hasta el 21/10/2020. Valores obtenidos con datalogger LOG32°.

Es importante tener en cuenta los valores de humedad relativa, porque cuando más elevada sea la humedad relativa (>75%) puede implicar que la velocidad de reacción de determinados productos *Nanorestore*® sea más rápida, es decir la carbonatación de las nanopartículas de hidróxido de calcio se produzca antes.^[51]

El hecho de que no se hayan registrado valores negativos de temperatura es importante porque en el periodo estudiado, el soporte no ha experimentado ciclos de hielo-deshielo evitando la gelivación del mismo.

Parámetros físicos: mediciones superficiales

De una manera más estable se registra la temperatura y humedad relativa superficial del soporte donde se encuentran las pinturas (Fig. 6). Respecto a la temperatura superficial del soporte es variable en función de la estación del año, hecho importante por su proximidad a las pinturas. Se han registrado máximas de 21 °C y mínimas de 4,5 °C, aunque se mantienen estables en todos los puntos de medida. Por esta razón, se espera que el descenso y ascenso de temperatura superficial sea paulatino, por lo que el impacto sobre el soporte es mínimo.

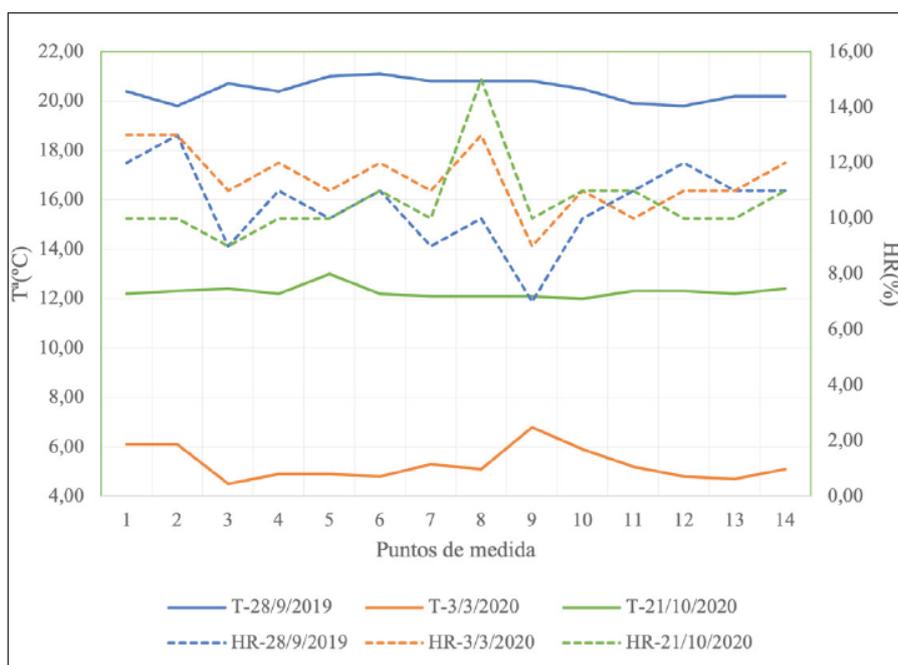


FIGURA 6

Parámetros registrados en la superficie del abrigo de Los Toros del Pradodel Navazo.

Respecto a las mediciones superficiales de humedad relativa, se puede observar, al igual que en las mediciones ambientales, que cuando la temperatura es menor, la humedad relativa es mayor, y viceversa. Podemos ver como en el mes de marzo se registra una temperatura baja (5,3 °C) y una humedad relativa superior (11,43%), respecto al mes de septiembre que cuando se documenta una temperatura de 20,46 °C la humedad relativa es menor (10,50%).

Por otra parte, para valorar el impacto lumínico sobre las pinturas, se realizaron mediciones de los luxes (Fig. 7) y así, evaluar cómo este parámetro puede afectar a la estabilidad de los materiales pictóricos.^[52] Los resultados de la incidencia lumínica alcanzan los 1900 lx en el mes de septiembre, mientras que el valor mínimo aparece reflejado en octubre con 145 lx. Pese a esta diferencia de más de 1700 lx, no existe un parámetro concreto acerca de cuál es la cantidad de luxes recomendados para el arte rupestre. No obstante, Baglioni recoge que para material pétreo no existe un valor específico de luxes.^[53] En cambio, Vaillant *et al.* recomiendan que, para material de baja sensibilidad, como es el material inorgánico, no se deben sobrepasar los 300 lx.^[54] Pese a ello, hay que tener en cuenta que el soporte pétreo es un material muy duradero y que puede superar mayor incidencia lumínica, pero el soporte está supeditado a las pinturas, las cuales pudieron contener aglutinantes orgánicos, hoy en día transformados. Esta transformación es causada, en parte, porque el daño de la luz es acumulativo. Este daño es producido por la radiación ultravioleta (UV), ya que actúa como catalizador de reacciones químicas, pero también por rayos infrarrojos (IR) encargados de aportar calor al soporte y que conducen a las pinturas a un estrés térmico.^[55] Por ello, sería conveniente evitar niveles altos de luxes (<300 lx), aunque es un parámetro difícil de controlar por su situación al aire libre.

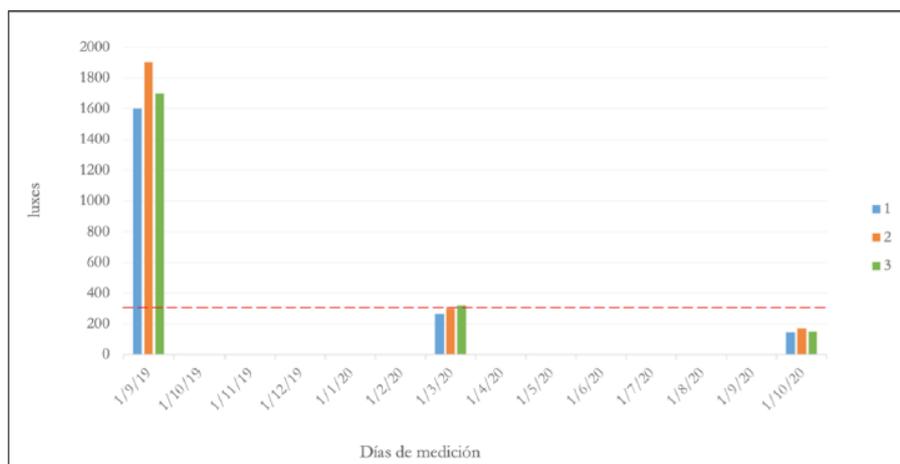


FIGURA 7

Mediciones de luxes en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo. Valores obtenidos con luxómetro Milwaukee®.

Evaluación de cambios colorimétricos y superficiales antes y después de la aplicación de los consolidantes

Los cambios producidos en el material pétreo antes y después del tratamiento de consolidación pueden observarse en la **Tabla 2** y en la **Figura 8**.

En todos los casos existe un incremento de la diferencia de color total (ΔE^*). Se puede observar que los resultados cromáticos son diferentes en un mismo consolidante, ya que existen valores muy alejados entre sí aun habiendo sido aplicados en las mismas condiciones. Se aprecia un descenso de la luminosidad (ΔL^*) en los consolidantes organosilíceos, oscureciendo la superficie donde han sido aplicados, especialmente con *Tecnadis® Solidus-2*. En cambio, la luminosidad (ΔL^*) en los consolidantes con nanopartículas ha aumentado, aclarando la superficie tratada, produciéndose un incremento mayor en *Nanorestore®-2*. En cuanto a los valores de Δa^* , de nuevo, existe una diferencia entre el material nanoparticulado y el organosilíceo *Tecnadis® Solidus* con una clara intensificación hacia el rojo. Respecto a los parámetros de Δb^* en general se aprecia una tendencia negativa, que significa que la superficie se ha “enfriado” (la temperatura de color tiene una tendencia hacia el espacio cromático $-b^*$, es decir hacia el color azul), salvo en *Wacker® OH100-2*.

Con todo, los cambios colorimétricos (ΔE^*) son perceptibles por el ojo humano a partir de 2,5 según refiere Melgosa *et al.*,^[56] por lo que, las probetas tratadas con *Wacker® OH100*, *Nano Estel®* y *Nanorestore®* (ΔE^* 2,74; 1,48 y 2,57, respectivamente), han sufrido una ligera variación situándose sus valores próximos a ΔE^* 2,5. El cambio de color más destacado es el que ha sufrido *Tecnadis® Solidus* (ΔE^* 9,18). Por lo que se puede concluir que las probetas se han oscurecido y enfriado su tonalidad.

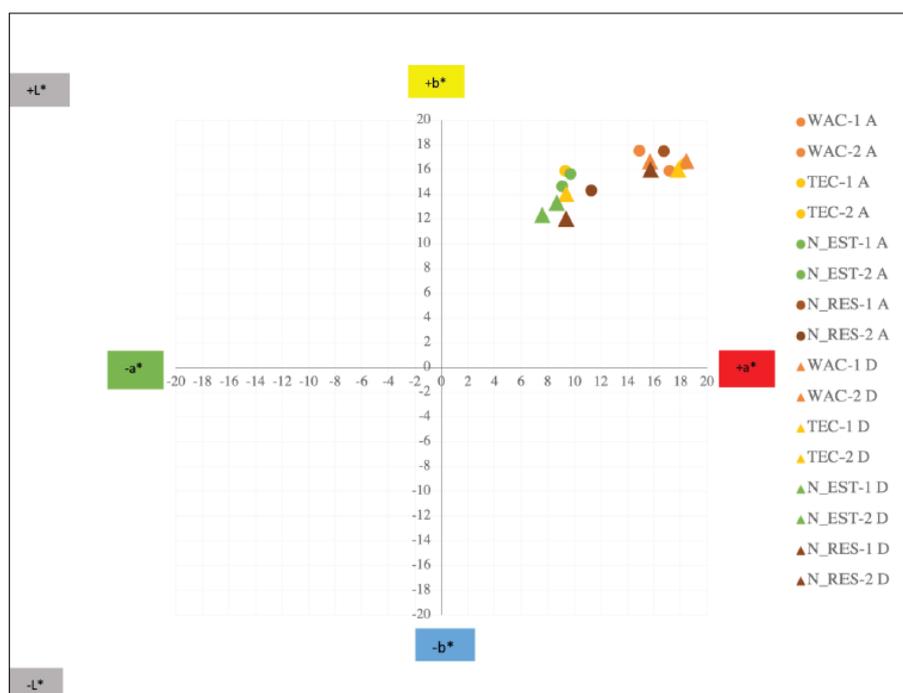


FIGURA 8

Parámetros colorimétricos antes y después de la aplicación de los consolidantes en probetas.

	Antes de Aplicación			Después de Aplicación			Diferencia de color			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Wacker OH100 100%-1	47,51	14,88	17,54	45,05	15,71	16,66	-2,46	0,82	-0,88	2,74
Wacker OH100 100%-2	45,28	17,13	15,94	41,89	18,45	16,71	-3,38	1,32	0,78	3,71
Tecnadis Solidus 100%-1	43,64	18,27	16,45	39,98	17,81	16,03	-3,66	-0,47	-0,42	3,71
Tecnadis Solidus 100%-2	46,03	9,31	15,93	37,05	9,37	14,04	-8,98	0,05	-1,88	9,18
Nano Estel 25%-1	40,64	9,67	15,69	43,90	7,57	12,35	3,26	-2,10	-3,34	5,12
Nano Estel 25%-2	40,91	9,09	14,68	41,40	8,68	13,34	0,49	-0,41	-1,33	1,48
Nanorestore 100%-1	51,49	16,73	17,51	53,34	15,74	16,03	1,85	-0,99	-1,48	2,57
Nanorestore 100%-2	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

Ensayo de envejecimiento acelerado

Los cambios producidos en la superficie de las probetas se han observado y evaluado mediante microscopía digital y microscopía electrónica de barrido (SEM) antes y después del ensayo. Asimismo, también se realizó un estudio colorimétrico previo al ensayo de envejecimiento (con los consolidantes ya aplicados) y después de dicho ensayo. Los resultados muestran los cambios en la morfología superficial producidos tras los ciclos de envejecimiento (Tabla 3).

Los resultados obtenidos a partir de la observación en SEM de las muestras tratadas se pueden apreciar pequeñas modificaciones superficiales, especialmente en los productos a base de nanopartículas *Nano Estel*[®]. *Nanorestore*[®]. Se observa un cambio superficial en el material tratado con *Nano Estel*[®] que se produce desde la aplicación del producto, ya que en la imagen de SEM previo al ensayo de envejecimiento se observa un agrietamiento generalizado, además de que formó un *film* discontinuo (Fig. 9.A).

A consecuencia de los ciclos de envejecimiento, ese agrietamiento inicial genera nuevas patologías como levantamiento de los labios de las grietas, e incluso, desprendimiento de consolidante (Fig. 9.B). Por otra parte, en *Nanorestore*[®] también podemos apreciar un agrietamiento en aquellas zonas de mayor acumulación de producto (Fig. 10), posiblemente producido por la rápida evaporación del disolvente que podría generar una mayor concentración del producto en superficie y por ello la carbonatación podría producirse de manera irregular.^[57] Esta acumulación irregular se incentiva tras los ciclos de envejecimiento, aumentando el relieve superficial.

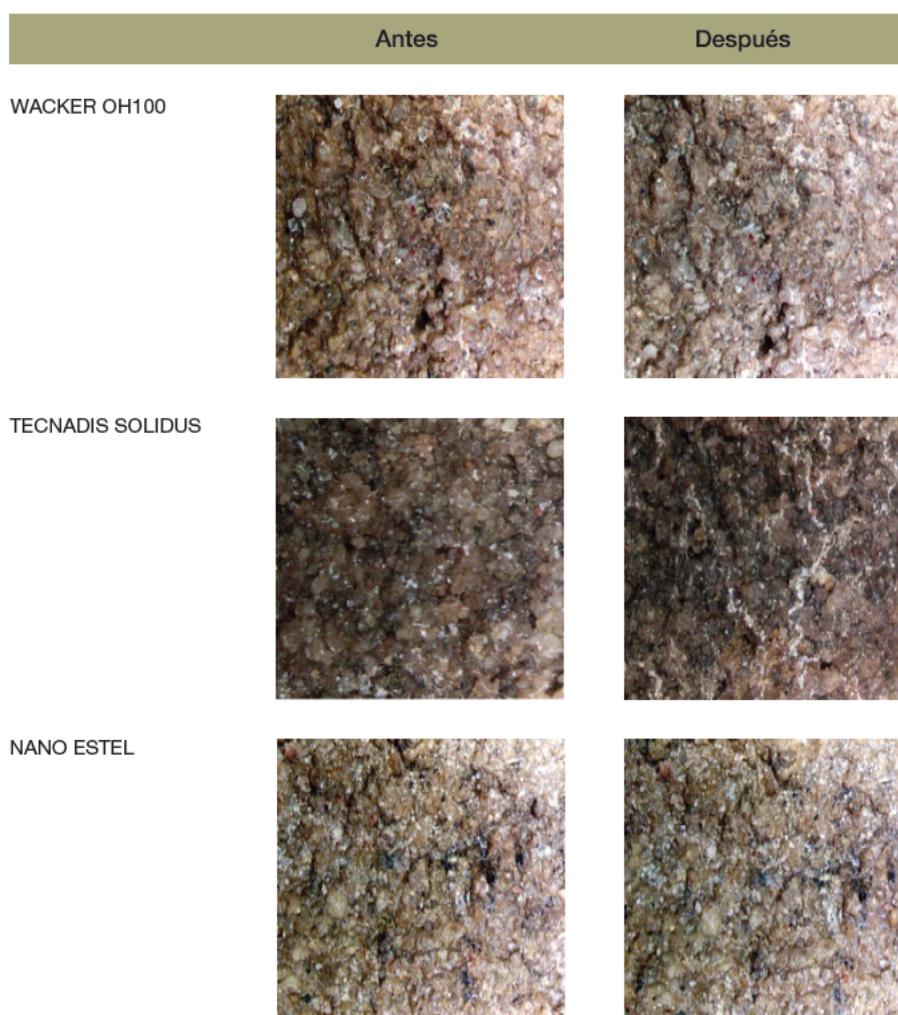


TABLA 3
 Probetas tratadas antes y después de someterse a ciclos de envejecimiento acelerado

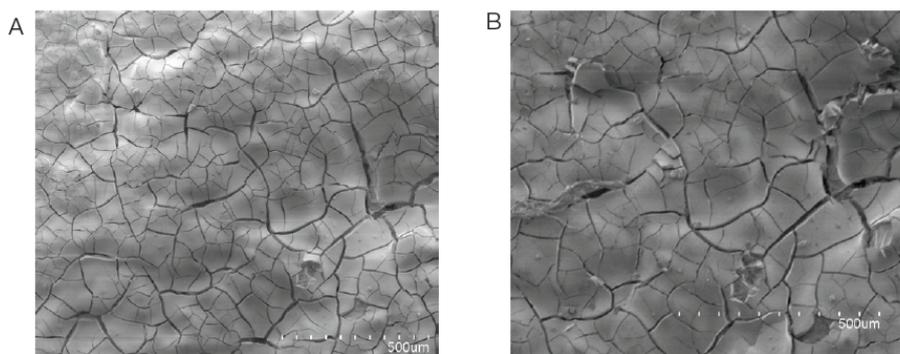


FIGURA 9

(A) Probeta de Nano Estel® tras la aplicación del producto antes de someterse a ciclos de envejecimiento. Se aprecia agrietamiento generalizado (40x); (B) Probeta de NanoEstel® tras someterse a ciclos de envejecimiento. Se observa levantamiento en los labios de las grietas y desprendimientos del film generado por consolidante (110x).

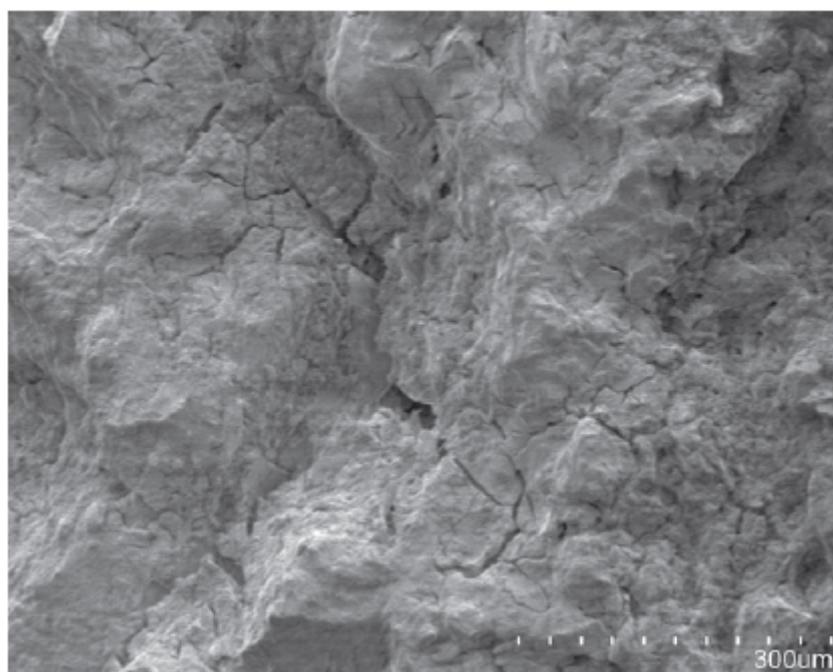


FIGURA 10

Acumulación de Nanorestore®.

En cuanto a los consolidantes organosilíceos los cambios superficiales son apenas apreciables. De hecho, sólo se observa una ligera acumulación desigual de la superficie de *Tecnadis® Solidus* tras los ciclos de envejecimiento (Tabla 3). En cambio, esta circunstancia no es apreciable con *Wacker® OH100*.^[58]

Del mismo modo que sucedió un cambio superficial en algunas de las superficies tratadas tras los ciclos de envejecimiento, es importante realizar un seguimiento de las posibles modificaciones ópticas que pueden experimentar los productos tras estos ciclos mediante un estudio colorimétrico. Los valores colorimétricos obtenidos antes y después del ensayo de envejecimiento acelerado quedan registrados en la Tabla 4 y la Fig. 11.

En términos generales todas las muestras tras este ensayo experimentaron un incremento de la diferencia de color total, aunque sólo en uno de los casos se supera el 2,5. Por lo que, se puede determinar que los consolidantes experimentan un incremento cromático progresivo con el paso del tiempo, sumado al incremento ya producido en el momento de la aplicación (Tabla 5).

	Después aplicación			Cámara envejecimiento			Diferencia de color			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Wacker OH100 100%-1	45,05	15,71	16,66	44,01	15,25	16,76	-1,04	-0,46	0,10	1,14
Wacker OH100 100%-2	41,89	18,45	16,71	42,27	17,67	15,80	0,38	-0,78	-0,91	1,26
Tecnadis Solidus 100%-1	39,98	17,81	16,03	41,29	18,16	16,58	1,31	0,36	0,54	1,46
Tecnadis Solidus 100%-2	37,05	9,37	14,04	38,31	9,55	13,06	1,26	0,18	-0,98	1,61
Nano Estel 25%-1	43,90	7,57	12,35	44,21	8,21	12,91	0,31	0,64	0,56	0,90
Nano Estel 25%-2	41,40	8,68	13,34	36,42	8,45	10,25	-4,98	-0,23	-3,09	5,86
Nanorestore 100%-1	53,34	15,74	16,03	51,92	16,02	15,99	-1,42	0,28	-0,05	1,45
Nanorestore 100%-2	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

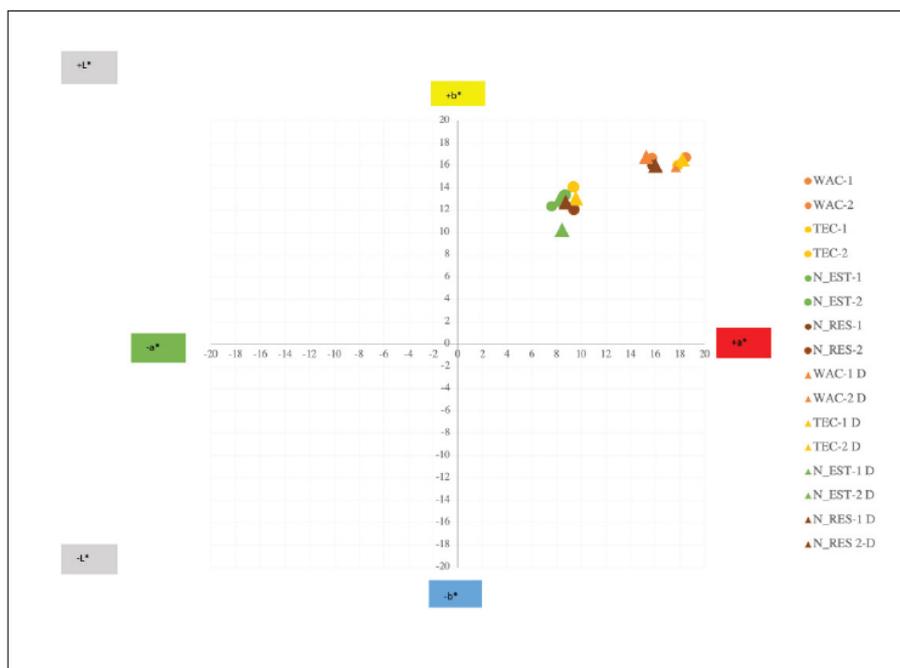


FIGURA 11
 Parámetros colorimétricos después de la aplicación de los consolidantes y tras cámara climática de envejecimiento.

	Antes de aplicación			Cámara envejecimiento			Diferencia de color			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Wacker OH100 100%-1	47,51	14,88	17,54	44,01	15,25	16,76	-3,5	0,37	-0,78	3,60
Wacker OH100 100%-2	45,28	17,13	15,94	42,27	17,67	15,8	-3,01	0,54	-0,14	3,06
Tecnadis Solidus 100%-1	43,64	18,27	16,45	41,29	18,16	16,58	-2,35	-0,11	0,13	2,36
Tecnadis Solidus 100%-2	46,03	9,31	15,93	38,31	9,55	13,06	-7,72	0,24	-2,87	8,24
Nano Estel 25%-1	40,64	9,67	15,69	44,21	8,21	12,91	3,57	-1,46	-2,78	4,75
Nano Estel 25%-2	40,91	9,09	14,68	36,42	8,45	10,25	-4,49	-0,64	-4,43	6,34
Nanorestore 100%-1	51,49	16,73	17,51	51,92	16,02	15,99	0,43	-0,71	-1,52	1,73
Nanorestore 100%-2	42,11	11,26	14,34	45,45	8,73	12,73	3,34	-2,53	-1,61	4,49

TABLA 5
Diferencia de color del material pétreo antes de la aplicación de los productos y tras ciclos de envejecimiento.

Ensayo de absorción por capilaridad

El ensayo ha determinado que las probetas tratadas incrementaron su masa, aunque respecto al material sin tratar la absorción es menor (Fig. 12).

Aun así, la probeta que ha registrado una mayor penetración capilar ha sido *Nanorestore*[®]. Del mismo modo, el producto citado ha experimentado un mayor coeficiente de absorción, situándose muy próximo al material sin tratar y al otro material nanoparticulado (*Nano Estel*[®]). Este comportamiento se debe a que la superficie tratada apenas es modificada debido a la presencia de las nanopartículas. Por el contrario, el producto que menos cantidad de agua ha absorbido fue *Tecnadis*[®] *Solidus*. Este resultado es muy similar a *Wacker*[®] *OH100*, hecho que se explica a que ambos son productos organosilíceos (silicatos de etilo) que se caracterizan por generar una obstrucción la porosidad, hecho que implica la reducción de la permeabilidad de la piedra, como se ha detectado en investigaciones precedentes.^[59]

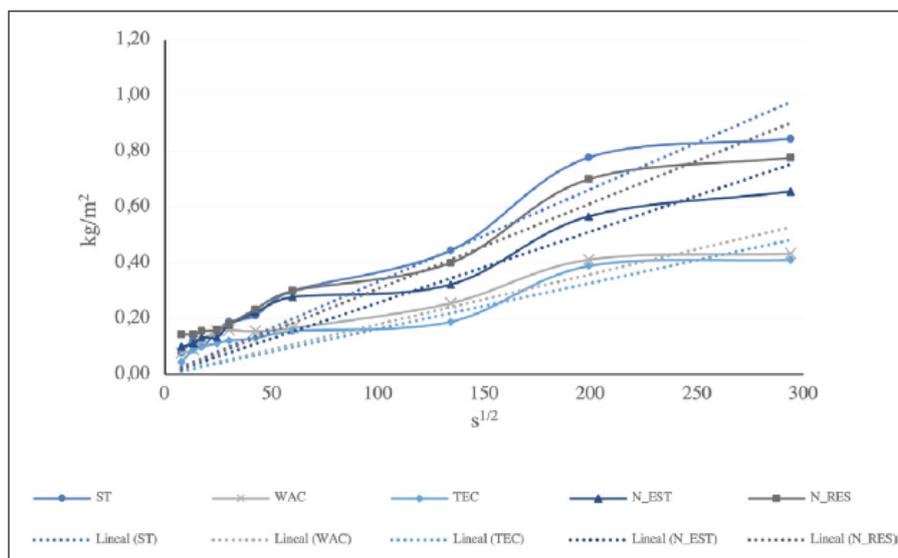


FIGURA 12

Curva de absorción capilar de material pétreo tratado y sin tratar.

Conclusiones

Los tratamientos de conservación-restauración en arte rupestre Levantino, y en especial las intervenciones de consolidación, por lo general, han utilizado materiales poco apropiados. Esto, junto a la escasa y poco relevante documentación publicada acerca de los procesos de restauración, genera la necesidad de proponer trabajos de consolidación específicos, que sean evaluados científica y empíricamente.

En la actualidad existen productos novedosos que permiten llevar a cabo metodologías adecuadas. Aunque muchos de los productos utilizados han intentado cumplir con todas las características citadas, no existe el consolidante ideal, sin embargo, al adecuar metodologías de aplicación y de trabajo adaptadas al arte rupestre se pueden obtener buenos resultados.

Previo a ello, es importante analizar los materiales constitutivos, el estado de conservación y las posibles causas de deterioro para minimizar el impacto de los factores de degradación.

El estudio del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* ha permitido valorar una propuesta de consolidación gracias al análisis de su estado de conservación y sus materiales originales. Según el estudio de las condiciones ambientales, el riesgo de experimentar shock térmico es bajo, pero, aun así, la propuesta de una consolidación superficial del soporte puede garantizar la estabilidad del mismo, especialmente debido a la continua exposición a los diferentes agentes extrínsecos de deterioro implicados. Asimismo, esta investigación permite avanzar en los estudios de conservación.

Los resultados obtenidos en esta investigación han determinado varias cuestiones a tener en cuenta. En primer lugar, la importancia del testado empírico de materiales *in situ* y en laboratorio permite definir una metodología de trabajo específica y adaptada a la finalidad de cada intervención, en donde resulta determinante el método de aplicación del producto consolidante, tanto morfológica como ópticamente, por lo que el método de aplicación *wet on wet* producía una variación menor de la superficie tratada.

Este testado resulta importante al haberse observado a lo largo del estudio que el material más adecuado (composición química similar y buenas propiedades) no es el consolidante que mejores resultados ha proporcionado. Los datos obtenidos en microscopía digital, en SEM y en colorimetría en *Nano Estel*[®] han determinado la generación de un *film* brillante y grueso con numerosas grietas, que se vieron acusadas tras los ciclos de envejecimiento artificial. Aunque estudios recientes afirmaban que la estabilidad de *Nano Estel*[®] tras ciclos de envejecimiento acelerado no experimentaba cambios de color visible,^[60] este estudio ha registrado un incremento de la luminancia (L^*) en la superficie tratada.

Respecto a la modificación de la morfología superficial que han generado el resto de los consolidantes, es importante destacar la acumulación irregular de hidróxido de calcio que ha experimentado la superficie tratada con *Nanorestore*[®]. Esta irregularidad puede deberse a que el producto ha rellenado los intersticios a consolidar o, por el contrario, que no ha penetrado de manera homogénea y en algunas zonas la carbonatación ha tenido lugar en superficie, incluso agrietado en las zonas con mayor acumulación. En cambio, tanto en *Wacker*[®] *OH100* como en *Tecnadis*[®] *Solidus* no se han generado *films* superficiales. Aunque tras ciclos de envejecimiento en este último se observó una acumulación del producto con un patrón serpenteante.

Se han observado variaciones colorimétricas perceptibles por el ojo humano en todos los consolidantes (>2,5), cambio que se vio incrementado tras el ensayo de envejecimiento. Pese a ello, las mejores respuestas al cambio cromático fueron las superficies tratadas con *Wacker*[®] *OH100* (100%) y *Nano Estel*[®] (25%). En cambio, *in situ*, *Nano Estel*[®] precipitó en superficie en el momento de la aplicación, lo que supuso un incremento de la diferencia de color total perceptible por el ojo humano. El estudio colorimétrico ha de continuar a lo largo del tiempo para comprobar si el incremento de la diferencia de color sigue sucediendo o se paraliza a partir de un determinado momento.

En cuanto a la absorción capilar, todas las superficies tratadas han respondido de un modo similar a la roca sin tratar, especialmente las superficies consolidadas con los productos nanoparticulados. Estos productos respetan en mayor medida la porosidad de la roca. Por el contrario, los productos organosilíceos absorben una menor cantidad de agua, por lo que éstos modificarían las propiedades originales de la roca. Aunque este hecho puede parecer positivo porque se reduce la absorción capilar, consideramos sustancial un estudio en mayor profundidad que permita determinar el comportamiento mecánico, físico y químico entre la capa generada con la consolidación y el interior de la roca ante diferentes situaciones que pueden darse con la presencia de agua, como infiltraciones de agua libre, condensación de agua en el interior de los poros o agua por capilaridad.

Este estudio deja patente la importancia de un testado empírico previo de los materiales, ya que existe una diferencia de comportamiento en los ensayos realizados *in situ* y en laboratorio. Este testado es necesario porque las intervenciones o restauraciones de urgencia, que son las realizadas en arte rupestre comúnmente, no permiten este estudio previo.

Las conclusiones obtenidas en los ensayos realizados han determinado una metodología inicial para los procesos de consolidación en arte rupestre Levantino, que nos ha permitido seleccionar productos adecuados para la consolidación superficial del soporte, en este caso, del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*. A partir de los datos obtenidos, se recomienda el método de aplicación *wet on wet* porque la superficie tratada experimenta una modificación morfológica menor, así como una variación colorimétrica más baja respecto al método *wet on dry*, ya que con este último los consolidantes penetran menos, pues cuando evapora el diluyente la penetración se ve reducida en una nueva aplicación favoreciendo la retención superficial del consolidante. Asimismo, aconsejamos el uso de *Wacker*[®] *OH100* tanto por la afinidad química con el soporte como por los buenos resultados que se han obtenido tras los ciclos de envejecimiento y la poca variación cromática que experimenta, aunque perceptible.

Con todo, se debe continuar con el estudio de un protocolo completo de conservación para arte rupestre Levantino a través del estudio de otros productos consolidantes disponibles, así como evaluar diferentes metodologías de aplicación como la pulverización, limpieza de las sustancias detríticas mediante láser, complementar los tratamientos de consolidación con la hidrofugación a base de nanopartículas, implementando nuevos métodos de evaluación de la eficacia en cada caso.

Biografía de los autores

Claudia Serrano Aranda

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). Actualmente desarrolla su Tesis Doctoral sobre el análisis y desarrollo de un Plan de Conservación preventiva para arte rupestre Levantino.

María Antonia Zalbidea Muñoz

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

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 Jaime 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.

NOTAS

[1] Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica.

[2] Juan Cabré. Catálogo artístico-monumental de la provincia de Teruel. 1909-1910. Madrid, CSIC. Disponible en: http://simurg.bibliotecas.csic.es/viewer/image/CSIC001475813_V01TF/1/; Henri Breuil y Juan Cabré. "Les peintures rupestres d'Espagne. III. Los Toricos de Albarracín", *L'Anthropologie* N° 22, 1911, pp. 641-648; Juan Cabré. Arte rupestre en España. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales, 1915; Hugo Obermaier y Henri Breuil. "Las pinturas rupestres de los alrededores de Tormón (Teruel)", *Boletín de la Real Academia de la Historia*, 1927, pp. 511-531; Martín Almagro Basch. "Un nuevo grupo de pinturas rupestres en Albarracín. La cueva de Doña Clotilde (Teruel)", *Teruel* N° 2, 1949, pp. 91-116; Martín Almagro Basch. "Tres nuevos covachos con pintura en la comarca de Albarracín", *Publicaciones del Seminario de Arqueología y Numismática Aragonesa* N° 2, 1953, pp. 7-14; Martín Almagro Basch. "Nuevas pinturas rupestres con una danza fálica en Albarracín", en: *Festschrift für Lothar Zotz*. Erlangen, 1960, pp. 13-18; Teógenes Ortego. "Prospecciones arqueológicas en Las Tajadas de Bezas (Teruel)", *Archivo Español de Arqueología* N° 23, 1951, pp. 455-486; Fernando Piñón. *Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel)*. Madrid, Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira, 1982.

[3] Manuel Martínez Bea. "Un arte no tan levantino. Perduración ritual de los abrigos pintados: el ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel)", *Trabajos de Prehistoria* N° 61, 2004, pp. 111-125; Manuel Bea Martínez. Estudio, confección de calcos

digitales y documentación geométrica de los abrigos con arte rupestre declarados Patrimonio Mundial de Albarracín (Teruel). Ministerio de Cultura, Informe inédito para la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, 2015; Manuel Bea Martínez. “El abrigo de Hoya de Navarejos III (Tormón, Teruel). Nuevas perspectivas para el análisis del arte levantino interior”, *Complutum* N° 28, 2017, pp. 37-50; Manuel Bea y Jorge Angás. Las pinturas rupestres de Bezas y Tormón (Teruel). Teruel, Parque Cultural de Albarracín, 2015; Manuel Bea y Jorge Angás. “Planteamientos interpretativos para el arte levantino a partir del estudio del abrigo del Arquero de los Callejones Cerrados”, *Zephyrus* N° 77, 2016, pp. 59-78; María Sebastián, Antonio Uriarte, Jorge Angás y Manuel Bea. “Documentación sistemática del arte rupestre mediante el análisis espectral del escaneo 3D de las estaciones pintadas en Aragón, España. El caso concreto del abrigo de La Vacada (Castellote, Teruel) y el covacho del Plano del Pulido (Caspe, Zaragoza)”, en I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación. Sevilla, 2009; Jorge Angás. “Nuevas técnicas de documentación geométrica y análisis del arte rupestre”, en M^a N. Juste, M^a A. Hernández, A. Pereta, J. I. Royo y J. A. Andrés (coords.): Jornadas Técnicas para la Gestión del Arte Rupestre, Patrimonio Mundial. Parque Cultural del Río Vero, Alquezar (Huesca). Barbastro, Comarca de Somontano de Barbastro, 2012, pp. 61-71; Jorge Angás, Manuel Bea y José Ignacio Royo Guillén. “Documentación geométrica mediante tecnología láser escáner 3D del arte rupestre en la cuenca del Matarraña (Teruel)”, *Cuadernos de Arte Rupestre* N° 6, 2013, pp. 91-101; Jorge Angás. “Nuevas técnicas de documentación geométrica y análisis del arte rupestre”, en M^a N. Juste, M^a A. Hernández, A. Pereta, J. I. Royo y J. A. Andrés (coords.): Jornadas Técnicas para la Gestión del Arte Rupestre, Patrimonio Mundial. Parque Cultural del Río Vero, Alquezar (Huesca). Barbastro, Comarca de Somontano de Barbastro, 2012, pp. 61-71; Jorge Angás. “Documentación geométrica del patrimonio cultural. Análisis de las técnicas, ensayos y nuevas perspectivas”, *Caesar Augusta* N° 86, 2019; Rosa Gasque. Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre. El caso del abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas, Albarracín (Teruel). Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València, 2017; Víctor Orera, Manuel Bea, José Luis Peña-Monné y Pilar Utrilla. “Análisis de pigmentos del abrigo de Cabras Blancas (Tormón, Teruel)”, en III Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés, Colegio de Licenciados y Doctores en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, Zaragoza, 2020, pp. 73-81; M^a Antonia Zalbidea y Rosa Gasque. “Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel)”, en J. A. López y J. M. Segura (coords.): El Arte Rupestre del Arco del Mediterráneo de la Península Ibérica. 20 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO (Alcoy 29-30 noviembre-1 diciembre 2018). Alcoy, Generalitat Valenciana, 2020, pp. 145-154.

[4] Ramiro Alloza, José Ignacio Royo y Blanca Latorre. “La conservación de un bien declarado Patrimonio Mundial y el proyecto de monitorización del arte rupestre en Aragón”, en J. I. Lorenzo y J. M. Rodanés (eds.): I Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés (CAPA). Zaragoza, Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencia de Aragón, 2016, pp. 635-642.

[5] Rosa Gasque, “Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre”, op. cit.; Rosa Gasque, M^a Antonia Zalbidea, José Ignacio Royo y Blanca Latorre. “Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de pintura rupestre al aire libre. El caso del abrigo de Los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel)”, en J. I. Lorenzo y J. M. Rodanés (eds.): II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés I (CAPA). Zaragoza, Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, 2018, pp. 91-101; Claudia Serrano. “Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino. El abrigo de los Toros del Prado del Navazo, Albarracín (Teruel)”. Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de València, 2021.

[6] Antonio Beltrán. Las pinturas rupestres del abrigo de Val del Charco del Agua Amarga de Alcañiz. Zaragoza, Prames, 2002; José Royo, José Antonio Andrés, José Ignacio Royo y Ramiro Alloza. “Trabajos de estabilización de urgencia en el soporte rocoso y estudio de patologías en el abrigo de “La Cañada de Marco” en Alcaine, Parque Cultural del Río Martín (Teruel)”, *Cuadernos de arte rupestre* N° 6, 2013, pp. 147-159; Estudio Métodos de la Restauración S.L, (empresa). Memoria de actuación propuesta para la realización de trabajos de conservación, consolidación y limpieza de las pinturas rupestre del abrigo del Cantalar I. Informe (inédito) entregado a la Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón, 2014.

[7] Laura Ballester. Conservación de las pinturas rupestres del Levante español. Tesis doctoral inédita, Universitat Politècnica de València, 2003; Manuel Bea y Jorge Angás. “The conservation of Spanish Levantine Rock Art in Aragon using 3D laser scanning”, en T. Darvill, y A. P. Batarda, (eds.), *Open-air rock art conservation and management: state of the art and future perspectives*. New York, Routledge, 2014, pp. 159-166; Gemma Barreda. Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de arte rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remígia (Barranc de Gasulla-Ares del mestre). Tesis doctoral, Valencia, Universitat Politècnica de València, 2016; Irene Mael Rodríguez e Inés Domingo. “Los problemas de conservación del arte rupestre levantino. Un estado de la cuestión”, en A. Castillo (ed.): III Congreso Internacional de Buenas Prácticas en Patrimonio Mundial, Menorca, 2018; Gemma Barreda y M^a Antonia Zalbidea. “Estudi de conservació de l' Abric de Pinos (Benissa, Alacant): patologies i causes de deterioració d'un jaciment amb art rupestre lleventí”, *Pyreane* N° 49, 2018, pp. 155-185.

- [8] Emilio Marconell. “Los toros de la Losilla”, *Miscelánea Turolense* N° 9, 1892, p. 160; Emilio Marconell. “Los toros de la Losilla”, *Miscelánea Turolense* N° 10, 1892, p. 180.
- [9] Juan Cabré, *Catálogo artístico-monumental de la provincia de Teruel*, op. cit
- [10] Henri Breuil y Juan Cabré, “Les peintures rupestres d’Espagne...”, op. cit.
- [11] Juan Cabré, *Arte rupestre en España*, op. cit.
- [12] Eduardo Hernández-Pacheco. *Las pinturas prehistóricas de la Cueva de la Araña (Valencia)*. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales, 1924.
- [13] M^a Cruz Berrocal, José Manuel Gil-Carles y M^a Isabel Martínez. “Martín Almagro Basch, Fernando Gil Carles y el Corpus de Arte Rupestre Levantino”, *Trabajos de Prehistoria* N° 62, 2005, pp. 27-45.
- [14] Antonio Beltrán. *Arte rupestre levantino. Monografías arqueológicas, IV*. Zaragoza, Facultad de Filosofía y Letras, Seminario de Prehistoria y Protohistoria, 1968; Eduardo Ripoll. “Cuestiones en torno a la cronología del arte rupestre postpaleolítico en la Península Ibérica”, en L. Pericot y E. Ripoll (eds.): *Prehistoric Art of the Western Mediterranean and the Sahara*. New York, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research, 1968, pp. 167-175.
- [15] Fernando Piñón, *Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel)*, op.cit.
- [16] Octavio Collado. *Parque Cultural de Albarracín*. Zaragoza, Centro del Libro de Aragón, Gobierno de Aragón. 1992.
- [17] Antonio Beltrán. “Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín, ideas generales para un debate”, *Caesaraugusta* N° 69, 1992, pp. 7-31; Antonio Beltrán. *Arte prehistórico en Aragón*. Zaragoza, Ibercaja, 1993; Antonio Beltrán. “Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín. Ideas generales para un debate”, en XXI Congreso Nacional de Arqueología (1991, Teruel). Zaragoza, Diputación General de Aragón, 1995, pp. 289-315; Pilar Utrilla. *El arte rupestre en Aragón*. Zaragoza, Colección CAI 100, 2000.
- [18] Manuel Bea. “Fase II. Estudio y documentación geométrica para conservación de los abrigos con arte rupestre Patrimonio Mundial de Albarracín (Teruel). Informe sobre el estudio de las representaciones rupestres”. Zaragoza, Informe inédito para la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, 2014.
- [19] Rosa Gasque, *Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre*, op. cit.; M^a Antonia Zalbidea, Gemma Barreda, Rosa Gasque y Claudia Serrano. “Estudios colorimétricos como método de conservación preventiva en abrigos con pintura rupestre”, en G. García Atiénzar y V. Barciela González (coords.): *Sociedades prehistóricas y manifestaciones artísticas. Imágenes, nuevas propuestas e interpretaciones*. Universitat d’Alacant. Alicante, Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigación en Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH), 2019, pp. 321-328; M^a Antonia Zalbidea y Rosa Gasque, “Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas...”, op. cit.; Claudia Serrano, M^a Antonia Zalbidea y Manuel Bea. “Propuesta de protocolo de consolidación para el arte rupestre levantino. El caso práctico del abrigo de los Toros del Prado del Navazo (Albarracín)”, en J. L. Lerma, V. M. López-Menchero y A. Maldonado (eds.): *I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España (Madrid noviembre 2019)*. Valencia, 2021, pp. 197-204; Claudia Serrano, “Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino...”, op. cit.
- [20] Octavio Collado. *Parque Cultural de Albarracín*. Zaragoza, Itinerarios Culturales de Aragón. Diputación General de Aragón, 1990; Manuel Bea y Jorge Angás, *Las pinturas rupestres de Bezas y Tormón (Teruel)*, op. cit.; Antonio Beltrán, “Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín, ideas generales para un debate”, op. cit.; Antonio Beltrán, “Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín. Ideas generales para un debate”, op. cit.
- [21] Emilio Marconell, “Los toros de la Losilla”, *Miscelánea Turolense* N° 9, op. cit.; Emilio Marconell, “Los toros de la Losilla”, *Miscelánea Turolense* N° 9, op. cit.
- [22] Manuel Martínez-Bea. “Arte rupestre de Albarracín: la excepcionalidad de un conjunto interior”, en M. S. Hernández; J. A. Soler y J. A. López (eds.): *Actas del IV Congreso del Neolítico Peninsular*. Alicante, MARQ, 2008, pp. 141-148.
- [23] Son numerosos los trabajos referidos al componente cronológico y cultural del arte Levantino. Sirvan como síntesis globales recientes los trabajos de: Inés Domingo. *Técnica y ejecución de la figura en el arte rupestre Levantino. Hacia una definición actualizada del concepto de estilo: validez y limitaciones*. Tesis Doctoral, Valencia, Universidad de Valencia, 2005; Mauro S. Hernández. “Definiendo un arte neolítico: arte levantino, macroesquemático y esquemático en el Arco Mediterráneo peninsular”, en J. J. García, H. Collado y G. Nash (coords.): *The Levantine Question. Post-palaeolithic rock art in the Iberian Peninsula*. Cáceres-Budapest, Archaeolingua, pp. 145-166; Manuel Martínez-Bea. *Variabilidad estilística y distribución territorial*

del arte rupestre Levantino en Aragón: el ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel). Tesis Doctoral, Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 2005; Miguel Ángel Mateo. Arte rupestre levantino. Cuestiones de cronología y adscripción cultural. Murcia, Editorial Tabularium, 2009; Miguel Ángel Mateo. “Del arte paleolítico al arte levantino: ¿continuidad o ruptura?”, en J. J. García, H. Collado y G. Nash (coords.): The Levantine Question. Post-palaeolithic rock art in the Iberian Peninsula. Cáceres-Budapest, Archaeolingua. 2012, pp. 167-186; Blanca Ochoa, Marcos García-Díez, Inés Domingy Andrea Martins. “Dating Iberian prehistoric rock art: Methods, sampling, data, limits and interpretations”, Quaternary International N° 572, 2021, pp. 88-105; Pilar Utrilla y Manuel Bea. “La figura humana en el arte levantino aragonés”, Cuadernos de Arte Rupestre N° 4, 2007, pp. 163-206; Pilar Utrilla y Manuel Bea. “El arte Levantino”, en J. A. Soler, R. Pérez y V. Barciela (eds.): Rupestre. Los primeros santuarios. Arte Prehistórico en Alicante. Alicante, MARQ, 2018, pp. 127-139; Valentín Villaverde, Rafael Martínez, Pere Guillem, Esther López y Inés Domingo. “What do we mean by Levantine rock art?”, en J. J. García, H. Collado y G. Nash (coords.): The Levantine Question. Post-palaeolithic rock art in the Iberian Peninsula. Cáceres-Budapest, MARQ, 2012, pp. 81-106; Ramón Viñas. “Las superposiciones en el arte rupestre levantino: antiguas propuestas y nuevas evidencias para un período de reflexión”, en J. J. García, H. Collado y G. Nash (coords.): The Levantine Question. Post-palaeolithic rock art in the Iberian Peninsula. Cáceres-Budapest, MARQ, 2012, pp. 55-80.

[24] Martín Almagro. “La cronología del arte levantino de España”, en VI Congreso Arqueológico del Sudeste (Alcoy, 1950). Zaragoza, Seminario de Arqueología y Numismática Aragonesas, Instituto Fernando el Católico, 1951, pp. 67-80; Antonio Beltrán, Arte rupestre levantino, op. cit.; Antonio Beltrán. “Acerca de la cronología de la pintura rupestre levantina”, en Valcamonica Symposium. Brescia, Centro Camuno di Studi Preistorici, 1968, pp. 87-93; Antonio Beltrán, Arte prehistórico en Aragón, op. cit.; Fernando Piñón, Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel), op. cit.; Pilar Utrilla, El arte rupestre en Aragón, op. cit.; Pilar Utrilla y M^a José Calvo. “Cultura material y arte rupestre levantino: la aportación de los yacimientos aragoneses a la cuestión cronológica. Una revisión del tema en el año 2000”, Bolskan N° 16, 1999, pp. 39-70.

[25] Manuel Martínez-Bea, “Arte rupestre de Albarracín: la excepcionalidad de un conjunto interior”, op. cit.; Manuel Bea, “El abrigo de Hoya de Navarejos III (Tormón, Teruel)...”, op. cit.; Manuel Bea y Jorge Angás, Las pinturas rupestres de Bezas y Tormón (Teruel), op. cit.

[26] M^a Antonia Zalbidea et al. “Estudios colorimétricos como método de conservación preventiva en abrigos con pintura rupestre”, op. cit.

[27] Aunque resulta de suma importancia para cualquier intervención de conservación-restauración conocer la composición tanto del soporte como de los pigmentos, en esta investigación no se pudo realizar un análisis de la composición de los pigmentos. Por esa razón, este estudio está limitado exclusivamente a la consolidación superficial del soporte, pero pretende ser ampliado a la consolidación de la película pictórica cuando sea posible realizar un estudio de su composición.

[28] Gerardo Benito, M^a Jesús Machado y Carlos Sancho. “Alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albarracín (Teruel) y su influencia en la conservación de las pinturas rupestres”, Kalathos N° 11-12, 1991-1992, pp. 7-24.

[29] Irene Mael Rodríguez e Inés Domingo, “Los problemas de conservación del arte rupestre levantino...”, op. cit.

[30] Claudia Serrano, “Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino...”, op. cit.

[31] Ascensión Ferrer. La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas. Sevilla, Universidad de Sevilla, 1998.

[32] Iacopo Osticioli, Marta Mascalchi, Daniella Pinna y Salvatore Siano. “Removal of Verrucaria nigrescens from Carrara marble artefacts usin Nd:YAG lasers: comparison among different pulse durations and wavelengths”, Applied Physics A N° 118, 2014, pp. 1517-1526.

[33] Mercedes Iriarte. Estudio de materiales pictóricos de arte rupestre en Europa, África, América y Asia mediante Microespectroscopía Raman. Tesis Doctoral, Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016.

[34] Fernando Piñón, Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel), op. cit.

[35] Eduardo Ripoll. “Pinturas rupestre de la Gasulla (Castellón)”, en: Monografías de Arte Rupestre. Arte Levantino, 2. Barcelona, Casa Provincial de Caridad, 1963; Ascensión Ferrer, La pintura mural..., op. cit.

[36] Antonio Beltrán, Arte rupestre levantino, op. cit.; Roberto Bednarik. “Reflexiones sobre la práctica de humedecer las pinturas rupestres”, Boletín de la Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia. (SIARB) N° 8, 1994, pp. 28-29; Eudald Guillaumet.

“Intervencions de conservació-restauració en pintura rupestre”, *Cota Zero*, revista d’ Arqueologia i Ciència N° 16, 2000 pp. 11-119.

[37] Antonio Beltrán, *Arte rupestre levantino*, op. cit.

[38] Gerardo Benito, M^a Jesús Machado y Carlos Sancho, “Alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albarracín (Teruel)...”, op. cit.

[39] Roberto Bednarik, “Reflexiones sobre la práctica de humedecer las pinturas rupestres”, op. cit.

[40] Claudia Serrano, M^a Antonia Zalbidea y Manuel Bea, “Propuesta de protocolo de consolidación para el arte rupestre levantino...”, op. cit.

[41] Julia Osca. “El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos”, en J. C. Berbero (ed.): *Actas del Seminario sobre restauración de pinturas murales. Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*. Fundación Santa María la Real- C.E.R, 2005, pp. 13-46.

[42] José Royo, et al. “Trabajos de estabilización de urgencia en el soporte rocoso y estudio de patologías en el abrigo de “La Cañada de Marco”...”, op. cit., p. 155.

[43] Rafael Martínez, Pere Miquel Guillen y Laura Ballester. “Los abrigos de Tortosilla. Una nueva visión tras los trabajos de conservación preventiva”, en I. Domingo, R. Rubio y B. Rives (coords.): *Abrigo de Tortosilla 100 aniversario de su descubrimiento. Primer hallazgo de Arte Rupestre de la Comunidad Valenciana*. Ayora, Ayuntamiento de Ayora y Diputación de Valencia, 2011, pp. 79-85.

[44] Laura Ballester, *Conservación de las pinturas rupestres del Levante español*, op. cit.

[45] Julia Osca, “El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos”, op. cit.

[46] Leonardo Borgioli. *Polimeri di sintesi per la conservazione della pietra*. Padua, Il Prato, 2002; Giovanni Amoroso. *Trattato di scienza della conservazione dei monumento. Etica della conservazione, degrado dei monumento, interventi conservativi, consolidanti e protettivi*. Firenze, Alinea editrice, 2002; Leonardo Borgioli y Paolo Cremonesi. *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*. Padua, Il Prato, 2005; Julia Osca, “El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos”, op. cit.; Paolo Bensi. “Le resine acriliche sulle pitture murali”, en A. Finozzi (ed.): *Seminario Esperienze e Materiali di Restauro. Le Resine Acriliche Sulle Pitture Murali: Thiene (VI). Villa Fabris (11 junio 2005)*. Padua, Il Prato, 2006; Gemma Barreda. *Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso en el Abric de Pinos (Benissa-Alicante)*. Diploma d’ Estudis Avançats (DEA), València, Universitat Politècnica de València, 2012.

[47] Aránzazu Sierra-Fernández, Luz Gómez-Villalba, M^a Eugenia Rabanal y Rafael Fort. “Revisión de los nuevos nanomateriales para la conservación y restauración del material pétreo”, *Materiales de Construcción* N° 67, 2017.

[48] Rosario Villegas, Raniero Baglioni y Marta Sameño. *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Granada, Comares, 2003; Gemma Barreda, *Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de arte rupestre en la Comunidad Valenciana*, op. cit.; Penka Girginova, Cristina Galacho, Rosario Veiga, Antonia Santos y Antonio Candeias. “Inorganic nanomaterials for restoration of cultural heritage: Synthesis approaches towards nanoconsolidants for Stone and wall paintings”, *ChemSusChem* N° 11, 2018, pp. 4168-4182; Irene Saramiego Jiménez y Ainara Zornoza-Indart. “Influencia del método de aplicación en la consolidación con nanopartículas de sílice (SiO₂): arenisca del claustro de la Catedral de Pamplona”, *Ge-conservación* N° 17, 2020, pp. 100-113; Claudia Serrano, “Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino...”, op. cit.

[49] Luz Gómez-Villalba, Paula López-Arce, Rafael Fort y Mónica Álvarez de Buergo. “La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural”, *Patrimonio Cultural de España* N° 4, 2010, pp. 43-56.

[50] Como puede observarse en la Tabla 1 se seleccionó el método wet on wet como modo de aplicación para todos los consolidantes porque la modificación superficial y la variación colorimétrica de la superficie era menor tras la aplicación de los productos. Claudia Serrano, “Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino...”, op. cit.

[51] Gemma Barreda, *Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de arte rupestre en la Comunidad Valenciana...*, op. cit.

- [52] Milagros Vaillant, Nieves Valentín y M^a Teresa Domènech. Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultural. Valencia, Universitat Politècnica de València, 2003.
- [53] Raniero Baglioni. “La iluminación de un bien cultural: problemas conservativos y nuevos avances”, PHN° 23, 1998, pp. 51-62.
- [54] Milagros Vaillant et al. Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultura, op. cit.
- [55] Irene Mael Rodríguez e Inés Domingo, “Los problemas de conservación del arte rupestre levantino...”, op. cit.
- [56] Manuel Melgosa, M^a del Mar Pérez, Ana Yebra, Rafael Huertas y Enrique Hita. “Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color”, Óptica pura y aplicada N° 34, 2001, pp. 1-10.
- [57] Gemma Barreda, Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de arte rupestre en la Comunidad Valenciana..., op. cit.
- [58] M^a Antonia Zalbidea y Rosa Gasque, “Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas...”, op. cit.
- [59] Irene Saramiego Jiménez y Ainara Zornoza-Indart, “Influencia del método de aplicación en la consolidación con nanopartículas de sílice (SiO₂)...”, op. cit.
- [60] Giulia Gheno, Elena Badetti, Andrea Brunelli, Renzo Ganzerla y Antonio Marcomini. “Consolidation of Vicenza, Arenaria and Istria stones: A comparison between nano-based products and acrylate derivatives”, Journal of Cultural Heritage N° 32, 2018, pp. 44-52; Fabio Iucolano, Abnet Colella, Barbara Liguori y Domenico Calcaterra. “Suitability of silica nanoparticles for tuff consolidation”, Construction and Building Material N° 202, 2019, pp. 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.002>