

Estudio de métodos de limpieza sobre yeserías medievales

Eva Vivar Garcia, Ana Isabel Calero Castillo, Ana Garcia Bueno

Resumen: El yeso ha sido empleado frecuentemente a lo largo de la historia en la elaboración de revestimientos arquitectónicos. Entre estos últimos destacan, por su belleza, las yeserías medievales. Este tipo de decoraciones suelen presentar importantes alteraciones respecto a su estado original, debido a la presencia de repolicromías y/o encalados, que ocultan la policromía original. Esta alteración puede acompañarse de pérdidas de policromía. En la actualidad, a esta problemática de conservación de las yeserías se une la escasez de estudios sobre tratamientos de limpieza específicos para estas obras con esta problemática de conservación. El trabajo que se presenta constituye una revisión de los métodos de limpieza a emplear en este tipo de obras, tanto (físicos como químicos). Se hace referencia al empleo de herramientas como el bisturí, o a la aplicación de empacos y geles elaborados a partir de polisacáridos complejos, ácidos acrílicos o éteres de celulosa y se describen las correspondientes pruebas de tratamientos realizadas sobre probetas. Los resultados obtenidos permiten establecer que el uso de geles, preparados a partir polisacáridos complejos y de éteres de celulosa, aplicados con disolventes como agua desionizada, acetona y alcohol, son eficaces para la limpieza de repolicromías realizadas al temple de cola animal sobre revestimientos de yeso.

Palabras clave: yeserías, repolicromía, conservación, patrimonio medieval, restauración

Study of cleaning methods on medieval plasterwork

Abstract: Gypsum has been used in the elaboration of architectural plaster coatings frequently, among which stand out the medieval plasterwork. This kind of decorations present serious conservation problems such as repolychromed or whitewashed among others. These problems hide and damage the original polychromy causing the final loss of the original color. Currently, this is joined with the scarcity studies on specific cleaning treatments for these kinds of alterations. Therefore, this project presents a revision of treatments as many physicals methods as chemical methods, for instance the use of tools like scalpel, or the application of poultices and gels made of complex polysaccharides, acrylic acids or cellulose ethers, and the corresponding treatment tests on simulated material. The results obtained allow us to establish that the use of gels prepared from complex polysaccharides and cellulose ethers, applied them with solvents such as water, acetone and alcohol, they are effective for cleaning animal glue temper repolychromed plaster coatings.

Keyword: plasterwork, repolychromed, conservation, heritage, medieval, preservation

Estudo de métodos de limpeza em gesso medievais

Resumo: O gesso tem sido usado com frequência ao longo da história no fabrico de revestimentos arquitetónicos. Entre estes, destaca-se o gesso medieval pela sua beleza. Este tipo de decoração costuma apresentar alterações importantes em relação ao seu estado original, devido à presença de repolicromias e/ou caições que escondem a policromia original. Essa alteração pode ser acompanhada pela perda da policromia. Atualmente, esse problema de conservação de gesso é agravado pela escassez de estudos sobre tratamentos de limpeza específicos para essas obras com este problema de conservação. O trabalho que se apresenta constitui uma revisão dos métodos de limpeza a utilizar neste tipo de obras, tanto físicas como químicas. É feita referência ao uso de ferramentas como o bisturi, ou à aplicação de pachos e géis feitos de polissacarídeos complexos, ácidos acrílicos ou éteres de celulose, e são descritos os correspondentes testes de tratamento realizados em tubos de ensaio. Os resultados obtidos permitem estabelecer que o uso de géis, preparados a partir de polissacarídeos complexos e éteres de celulose, aplicados com solventes como água desionizada, acetona e álcool, são eficazes para a limpeza de repolicromias à base de têmpera de cola animal sobre revestimentos de gesso.

Palavras-chave: gesso, repolicromia, conservação, património medieval, restauro

Introducción

Este artículo presenta un estudio sobre tratamientos de limpieza aplicados sobre revestimientos arquitectónicos de yeso. El empleo de este material en decoraciones murales ha sido muy frecuente a lo largo de la historia, hecho que ha estado favorecido, tanto por la presencia de abundantes yacimientos en todo el mundo, como por las características propias de este material (bajo coste, sencilla preparación y uso entre otras cualidades) (Rubio Domene 2010).

Tempranos ejemplos de este empleo se dan en la cultura egipcia y romana. La primera lo ha empleado como mortero de construcción y como soporte de los revestimientos que sirven de decoración de sus monumentos funerarios y templos (Garate Rojas 1999). Cabe mencionar su uso como soporte de pintura mural, donde la técnica pictórica empleada es el temple, elaborada con aglutinantes de goma o gelatina (Mora *et al* 1984; Sark *et al.* 2013). También en época romana es posible encontrar ejemplos de revestimientos arquitectónicos de yeso, empleándose en ocasiones como único material de base en las cornisas, como ocurre en la Península Ibérica. En nuestro país, es posible ese amplio empleo del material debido a la existencia de grandes y numerosos yacimientos de yeso (Villanueva Domínguez 2004; Sanz Arauz & Villanueva Domínguez 2009). Como ejemplos destacados del empleo de este material en relieve se pueden citar las piezas con decoraciones naturales y geométricas en Alicante, en la tumba de los Valerii en Pancrati y en las termas romanas de Bilibilis en Calatayud, Zaragoza (Sanz Arauz y Villanueva Domínguez 2009; Guiral Pelegrin y Martín Bueno 1996).

De entre todos los revestimientos a base de yeso, destacan los elaborados en la Edad Media, denominados como yeserías, y en especial cabe mencionar los realizados durante la ocupación árabe de la Península Ibérica, ya que es cuando se extiende el empleo de estos revestimientos, por influencia clara del imperio Sasánida de Persia e Irán, (Sanz Arauz y Villanueva Domínguez 2009). De esta época encontramos ejemplos como la mezquita de Córdoba, el Alcázar de Sevilla (Calero Castillo *et al.* 2017), el oratorio de la Madraza (García Bueno *et al.* 2010 a y b) o la Alhambra de Granada (Rubio Domene 2010), entre otros, y que se extenderá, tras la Reconquista, por los reinos cristianos como es apreciable en las yeserías de la Sinagoga del Tránsito y de Santa María la Blanca de Toledo, así como en autores como Jerónimo del Corral y Luis Cabello en el siglo XVI (Bruquetas Galán 1994; De Villanueva 2012).

Dada la frecuencia del uso de este tipo de revestimientos en la Península Ibérica, esta investigación se centrará en las yeserías medievales. Este tipo de revestimientos puede presentar una gran complejidad de elementos ajenos a su originalidad que afectan a su conservación como, por ejemplo, aplicación de encalados y/o

repolicromías, efectuados sobre los mismos, manchas de hollín o suciedad acumulada. La aplicación de los mismos puede deberse a la complejidad del mantenimiento de estas superficies debido a que presentan relieves donde se acumula suciedad, y son susceptibles de sufrir golpes que devienen en pérdidas volumétricas, o también debido a la aparición de manchas de oxidación de elementos metálicos. En el caso de los encalados y repolicromías, su eliminación resulta problemática, pues suelen ser realizados con materiales de similar naturaleza a los originales y, en muchos casos, de peor calidad (García Bueno *et al.* 2010 a y b). Estas capas superpuestas conllevan, frecuentemente, un error de interpretación de la datación de la obra (Cantos Martínez y Laborde Marqueze 2003). En ciertos casos se contempla la posibilidad de eliminación de la repolicromía, por lo que se hace necesario plantear el tratamiento de limpieza más adecuado. Sin embargo, retirar una repolicromía o un encalado puede suponer grandes dificultades, pues al eliminar la capa de alteración puede desprenderse, unida a ella, la policromía original, siendo extremadamente difícil eliminar el añadido sin afectar negativamente a la misma.

Así pues, el objetivo de este trabajo es valorar la efectividad de una selección de tratamientos de limpieza, que permitan la eliminación de repolicromías o de repintes elaborados con temple de cola animal sobre revestimientos de yeso policromados. Para ello, se parte de probetas ya elaboradas que simulan tanto los materiales como el proceso de ejecución a las yeserías medievales. Las técnicas de elaboración empleadas en este periodo y en los posteriores son dos: la talla y el molde. La primera de ellas se caracterizaba por la ejecución de la decoración directamente en el muro, lo que exigía una gran destreza y laboriosidad. Esta metodología de trabajo es característica de época taifa, almorávide o almohade, alcanzando en el nazarí su máximo esplendor. Por otra parte, la técnica del molde, considerada más tardía pues se incorpora en época nazarí, continúa en periodos posteriores a la dominación musulmana como el mudéjar. Esta última técnica facilitó en gran medida la decoración de grandes superficies, ya que permite reproducir sistemáticamente los diferentes modelos decorativos. La utilización de una u otra técnica o de ambas combinadas, va a depender entre otros condicionantes de la extensión de la superficie en la que se aplica y el motivo decorativo que figura en el modelo, de manera que cuando el espacio es relativamente reducido se va a emplear la talla y cuando éste es más amplio, frecuentemente se recurrirá al molde. En cuanto a los materiales, la talla se va a distinguir principalmente por el empleo de un yeso oscuro o también denominado, negro con un alto contenido en tierras, granulometría gruesa y textura poco homogénea. Por otra parte, en las yeserías ejecutadas se emplea un yeso más puro y blanco sin apenas presencia de áridos, en las que en ocasiones se detecta una fina capa de color ocre anaranjado, que se ha atribuido a un desmoldeante empleado para evitar que

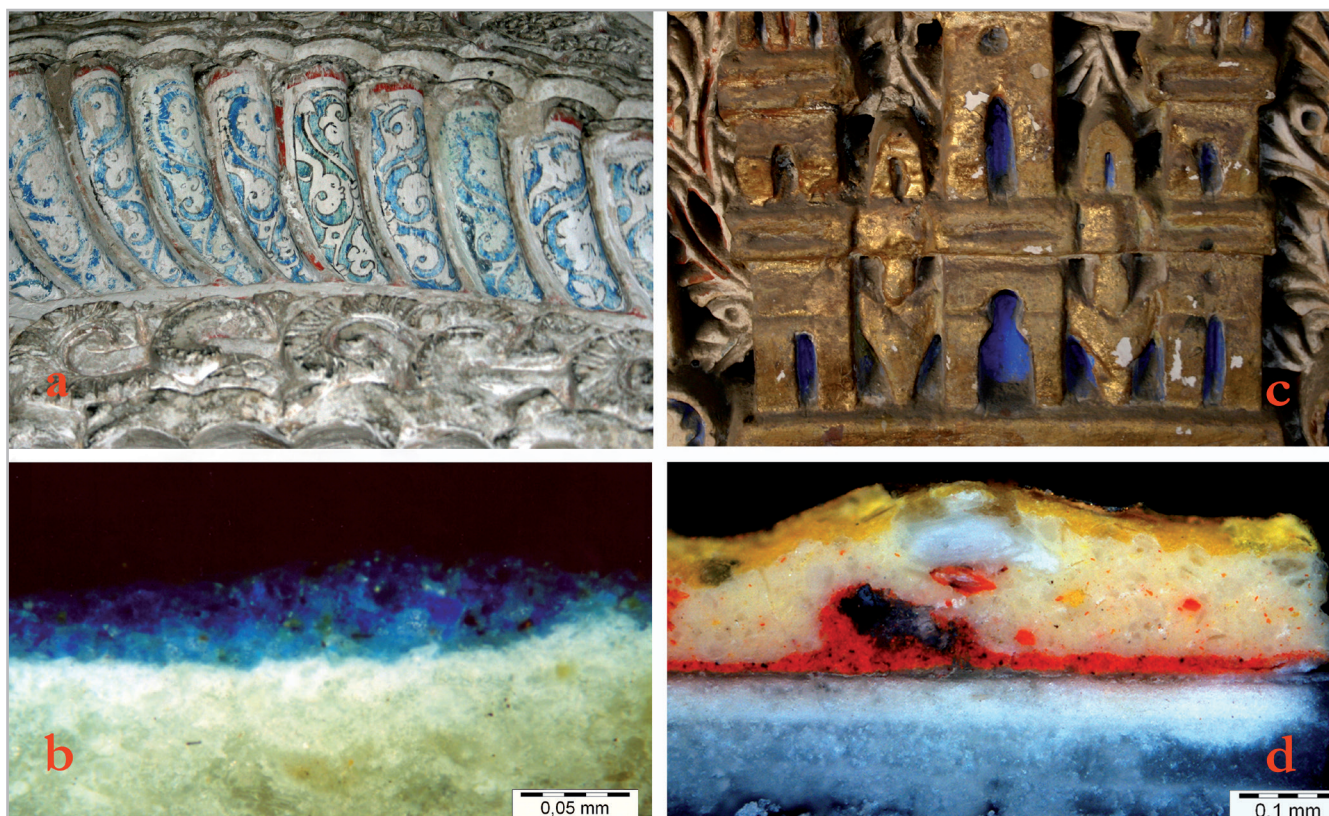


Figura 1. - a) Decoración pintada en azul en las yeserías del Cuarto Real de Santo Domingo. (Granada). b) Estratigrafía de una muestra de azurita natural del Cuarto Real de Santo Domingo (Granada). c) Imagen de una zona de detalle con repolicromías realizadas sobre la policromía original en las yeserías del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. d) Estratigrafía de una muestra tomada de la misma zona donde se observa la sucesión de estratos.

la colada de yeso se pegara al molde. Según Fernández Puertas, una vez se fijaba el módulo del patrón, con su anchura y la amplitud, se configuraba su negativo con un molde. Los estudios efectuados por Ramón Rubio (2010) en los talleres de la Alhambra, han demostrado que estos moldes podrían ser de barro, escayola, cola, azufre o yeso entre otros. Una vez preparada la superficie, esta era decorada habitualmente con una gran riqueza cromática, para lo que se empleaban pigmentos de una gran calidad, entre los que destacan azurita natural y lapislázuli para los azules, tierra roja, cinabrio o bermellón para los rojos, ocre amarillo, oropimente y litargirio para los amarillos, malaquita o verdigrís para los verdes e incluso dorados entre otros. Los aglutinantes más empleados fueron la goma arábiga y la cola animal, aunque también en casos puntuales aparece el huevo (García Bueno *et al.* 2010 a y b; Domínguez Vidal *et al.* 2012).

Con las técnicas anteriormente descritas se realizan probetas de yeserías y se reproducen repolicromías de temple de cola de conejo, presentes en obra real, como en el Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla o en el oratorio de la Madraza, entre otros, y se realiza una selección de tratamientos de limpieza (Calero Castillo *et al.* 2017) [figura 1].

Con el objetivo de evaluar dichos tratamientos, se establece una metodología que permite delimitar la

superficie a tratar mediante el empleo de un sistema de plantillas de acetato, de modo que se puedan analizar con precisión los cambios producidos en la superficie tratada. Para ello se ha empleado fotografía digital, microscopía estereoscópica, modelos fotogramétricos, elaborados con AutoDesk Recap y comparados con el programa CloudCompare (López Martínez *et al.* 2018).

Materiales y métodos

—Elaboración de probetas

Se realizan cuatro probetas con una base ladrillos de arcilla cocida de fabricación industrial. Las dimensiones de las probetas de yeso son 20,5 cm de longitud a soga, 10 cm de anchura o tizón y 2,7 cm de grueso. En este caso concreto, se tomaron como referencia los resultados obtenidos en 10 muestras analizadas por difracción de Rayos X procedentes de las yeserías del Patio de las Doncellas (Calero Castillo *et al.* 2017), ya que son muy representativos de las yeserías con esta cronología. Así, se empleó como base del soporte yeso blanco 95% ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) certificado por AENOR, al que se añadió un 5% de hidróxido de calcio, en este caso de la empresa CALCINOR, *química natural*, material presente en muestras de obra real analizadas y empleado comúnmente de manera tradicional como

aditivo para retardar el fraguado. Por otra parte, en este caso concreto se descartó la adición de un árido, al estar presente de manera minoritaria (entre un 1-4%) y no en todas las muestras analizadas (Calero Castillo *et al.* 2017). Se realizaron diferentes amasados empleando 500 gramos de sulfato cálcico, 25 gramos de hidróxido cálcico y 1200 ml de agua, utilizando un molde con el que asegurar la repetibilidad de las probetas.

Los pigmentos aplicados sobre la capa de yeso son malaquita natural (K.10300), ocre natural (K.40301), azurita natural (K.10200) y cinabrio (K.42000) de la casa comercial Kremer Pigmente [figura 2]. La elección de estos pigmentos se basa en los estudios llevados a cabo por el equipo en el Real Alcázar de Sevilla (Calero Castillo *et al.* 2017; Calero Castillo *et al.* 2016), el Oratorio de la Madraza de Yüsuf I en Granada (García Bueno *et al.* 2010b) o el Cuarto Real de Santo Domingo (García Bueno y Medina Flórez 2004). La relación pigmento/aglutinante se eligió con el objetivo de producir una capa homogénea y opaca cubriente sobre el soporte de yeso, en la que poder evaluar de manera adecuada los datos obtenidos del ensayo de tratamientos. En el caso de los pigmentos ocre amarillo y cinabrio la proporción fue de 10ml/3g, mientras que en el caso de la malaquita natural y de la azurita, menos cubrientes, la proporción fue 10ml/5 g (Calero Castillo *et al.* 2017). Como aglutinante para estos supuestos se ha escogido la goma arábiga de la marca comercial CTS® diluida al 10% en agua ya que, como se ha mencionado con anterioridad, es uno de los aglutinantes más frecuentemente identificados en obras de especial relevancia como el Cuarto real de Santo Domingo (García Bueno y Medina Flórez 2004) o en las yeserías ocultas del Camaranchón del Real alcázar de Sevilla (Calero Castillo 2016). En este punto cabe mencionar que el proyecto de investigación completo también incluirá, en un futuro próximo, los resultados que se obtengan sobre probetas aglutinadas con cola animal, aglutinante que también se empleó muy frecuentemente, como ya se indicó con anterioridad. Los datos obtenidos a este respecto se encuentran en proceso de realización y procesado.

Las probetas empleadas para este trabajo han tenido un tiempo de curación de 6 años. Durante ese período han estado almacenadas en un laboratorio de investigación con condiciones de humedad relativa y temperatura sin variaciones bruscas, con control diario, semanal y mensual mediante un dispositivo portátil de la casa comercial SENSINET. En cuanto al tiempo de curación de las mismas, aun conociendo el empleo de los ensayos de envejecimiento (EEA) en este tipo de trabajos, para esta investigación se ha optado por el sistema de envejecimiento natural en las que se somete a los materiales a unas condiciones más cercanas a la realidad y cuyos efectos positivos para este tipo de trabajos destacan autores como Borgiorli & Cremonesi, (2005). No obstante, se tiene en cuenta que este período de tiempo de curado dista mucho de los cientos de años

que ostentan las antiguas yeserías tomadas como base para realizar las probetas.

—Aplicación de repolicromía al temple de cola animal

Se ha determinado seleccionar para este estudio las repolicromías efectuadas al temple de cola animal. La razón de elegir este tipo de alteración a reproducir sobre las probetas realizadas es la grave problemática que presenta la eliminación de estas repolicromías sobre yeserías, así como la frecuencia con la que aparecen en este tipo de decoraciones ya comentadas.

La repolicromía al temple se realiza con cola de conejo (en placas CTS®) como aglutinante y tierra roja (K.48150) como pigmento, y es aplicado sobre las probetas. Para la preparación del aglutinante se utilizan 10,5g de cola conejo en placas (CTS®) preparados al baño María en 150 ml de agua, previa hidratación de la cola 24 horas antes. Se preparó diluida a esta proporción para evitar que, al secar, la capa de policromía se craquelara. Tras ello, se realiza la mezcla constituida por el aglutinante y el pigmento tierra roja (K.48150), utilizando para ello 50ml de aglutinante, que debe ser previamente calentado al baño María para que la cola funda y 24 gramos de pigmento. Con esta proporción se consigue una mezcla fluida pero cubriente. Así, el temple de cola animal es aplicado mediante una brocha y en dos capas, con el objetivo de simular correctamente las repolicromías que suelen presentar las obras originales y, con ello, cubrir completamente la probeta. Para acelerar el secado de las probetas, se introducen en una estufa, durante 1 hora a 30 °C [figura 2].

Dada la complejidad de las limpiezas a efectuar, fue necesario delimitar y determinar de forma precisa la zona sobre la que se aplicaban los diferentes tratamientos, para de este modo poder extraer datos relevantes. Así, siguiendo la metodología expuesta por el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE), dentro del Proyecto Nanorestart - EU Project (Nanomaterials for the Restoration of Works of Art) http://www.nanorestart.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=285&Itemid=764, se decidió diseñar unas plantillas de acetato adaptadas a la superficie de cada una de las probetas evaluadas, con las siguientes dimensiones: longitud: 13,5 cm y Ancho: 12 cm. Cada plantilla presenta nueve huecos de 2x2 cm, sobre los que se realizan las diferentes pruebas de limpieza escogidas para cada probeta. [figura 3].

Tratamientos de limpieza

Para efectuar una selección adecuada de los tratamientos de limpieza, se ha realizado una revisión bibliográfica pormenorizada de los tratamientos generalmente empleados en este tipo de actuaciones, eligiendo aquellos que puedan resultar relevantes para esta problemática. Así se ha realizado la siguiente selección.

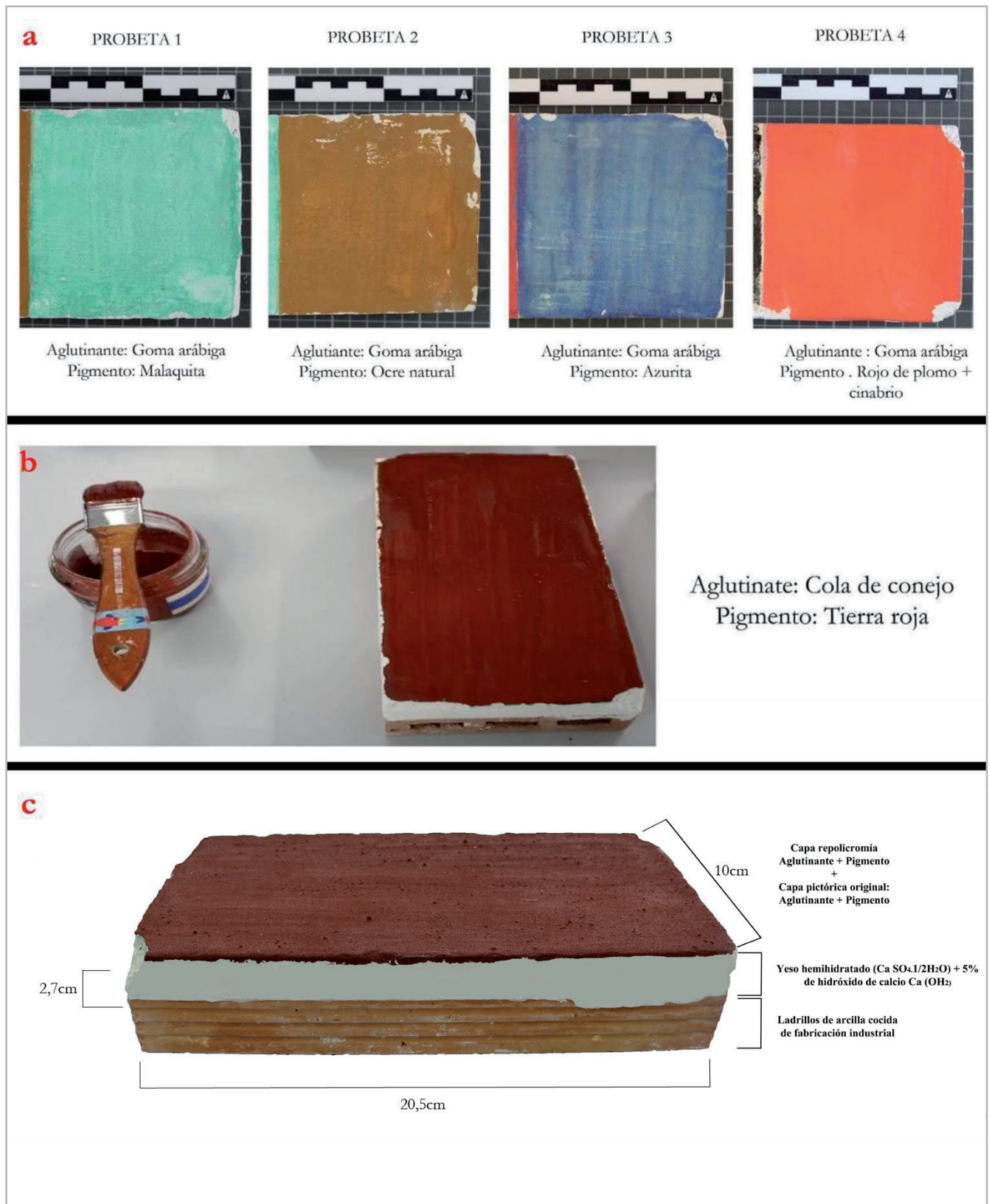


Figura 2.- Ilustración del proceso. a. Acabados cromáticos que simulan la policromía original. b. Aplicación de la repolicromía de temple a la cola de conejo sobre los acabados cromáticos originales. c. Composición por estratos de las probetas tras la inducción de las distintas alteraciones.

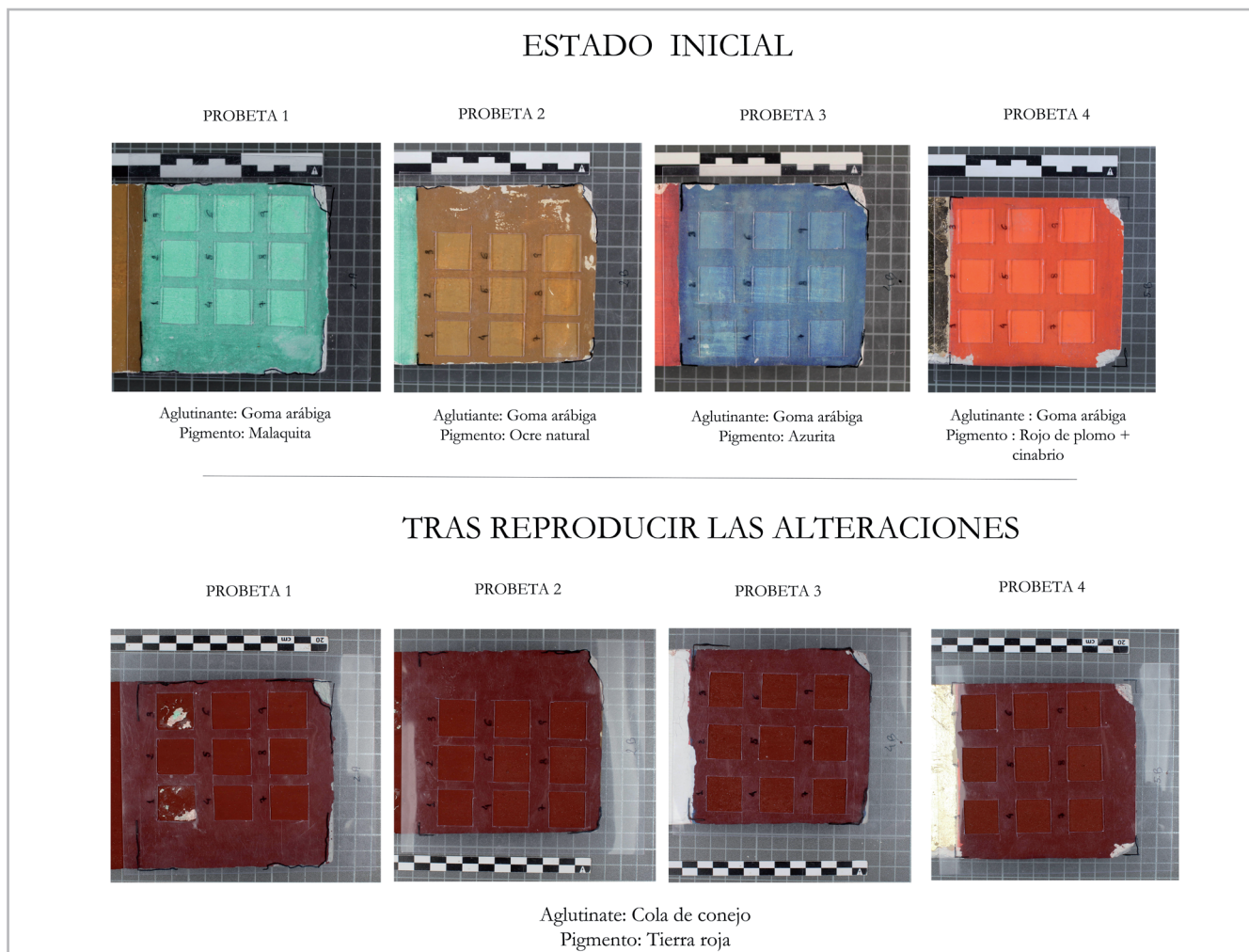


Figura 3.- Probetas con plantilla de limpieza en su estado inicial y tras inducir las alteraciones. La plantilla de acetato sirve para localizar perfectamente la zona donde se efectúan los diferentes tratamientos, fundamental para la evaluación de los cambios producidos en las distintas superficies.

—Tratamientos de tipo mecánico

De entre ellos se ha seleccionado el bisturí y la fibra de vidrio. Ambos métodos se caracterizan por su eficacia en este tipo de operaciones, además de ser, sobre todo en el caso del bisturí, uno de los métodos más empleados por el restaurador (Mas i Barberá 2010). Estos métodos se han empleado en catas de limpieza de obras como las yeserías del Patio de las Doncellas del Alcázar de Sevilla (Calero Castillo 2016) y en las limpiezas de las yeserías mudéjares del Sagrario de la iglesia de San Pedro de Torremocha de Jarama (Azcárate Luxán *et al.* 2010) (Estremera Linares *et al.* 2014) o del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada (García Bueno y Medina Flórez 2004). En todos los casos y, también para este estudio, se utilizan como método complementario a otros procesos de limpieza.

—Tratamientos de tipo químico

Como tratamientos químicos se ha determinado emplear, por un lado, empacos con pulpa de celulosa y algodón

(Del Ordi Castilla *et al.* 2010). Por otra parte, también se utilizan geles elaborados con ácidos poliacrílicos, Carbogel®, polisacáridos complejos, Gellano Kelcogel® y Agarart®, Culminal® MC2000 (metilcelulosa) e Klucel G® (hidroxipropilcelulosa) que se pueden aplicar sobre superficies sensibles al agua como el yeso (Borgioli 2001; Anzami M *et al.* 2008; Gregori 2015). En ambos casos se ha de interponer siempre entre la obra y el material un papel japonés o tissue, para proteger la superficie, evitar el contacto directo, y facilitar su eliminación (Mas i Barberá 2010).

Los disolventes seleccionados para eliminar este tipo de repintes son los disolventes polares, por su afinidad con la superficie a eliminar, en este caso repolicromías a base de temple de cola (Hubbard 1993). El empleo de empacos o geles, permite controlar mejor el grado de actuación y penetración, que es uno de los principales problemas que presenta el uso de disolventes. En este caso se utiliza: agua desionizada, acetona y alcohol etílico de la marca comercial CTS® (Cremonesi 2004). Este tipo de tratamientos se ha empleado en obras tales como las esculturas de yeso de la

Escuela de Artes Plásticas de Costa Rica (Zamora Rodríguez 2014) y sobre la escultura de yeso *Nerón y Séneca* (Museo del Prado 2013) donde se emplearon empacos de pulpa de celulosa y geles elaborados con Agarart® para llevar a cabo los tratamientos de limpieza. Así se ha determinado seleccionar los siguientes.

Las proporciones de las sustancias con las que se han configurado los tratamientos, así como la interposición de papel japonés antes de la aplicación de las mezclas ha evitado la existencia de residuos. Como excepción debe mencionarse la respuesta del gel elaborado a partir de hidroxipropilcelulosa, que ha generado la existencia de restos mínimos eliminados mecánicamente al retirar la repolicromía reblandecida, sin llegar en ningún momento a afectar la policromía original, y sin necesidad de realizar un lavado posterior. En la figura 4 puede observarse la distribución de los tratamientos de limpiezas en las probetas.

—Pruebas de limpieza seleccionadas

La tabla 1 recoge los tratamientos aplicados en cada probeta y el proceso de preparación de los mismos.

Tabla 1.- Distribución de los tratamientos de limpieza y disolventes seleccionados para el estudio, y su distribución por número de pruebas en las diferentes probetas.

Numeración de las pruebas según su ubicación en la plantilla de limpieza	Tratamiento aplicado en cada hueco de la plantilla de limpieza	Número de pruebas realizadas de cada tratamiento	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
			Disolvente Agua	Disolvente : Triple A (Agua + Acetona + Alcohol Etilico1:1:1)	Disolvente : Agua + Acetona (75:25)	Disolvente : Agua + Alcohol Etilico(75:25)
Prueba 1	Empaco de algodón + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
Prueba 2	Gel a partir de Culminal® MC2000 (metilcelulosa) + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
	Proporciones: 1 gr. Culminal® MC2000 en 12 ml disolvente					
Prueba 3	Empaco de pulpa de celulosa + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
Prueba 4	Gel a partir de Carbogel® (ácido poliacrílico)+ bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
	Proporciones: 0,2 gr. Carbogel® en 20 ml disolvente					
Prueba 5	Gel a partir de Gellano Kelcogel® (polisacárido complejo) + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
	Proporciones: 1 gr. Gellano Kelcogel® en 40 ml disolvente					
Prueba 6	Hisopo + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
Prueba 7	Gel a partir de Agarart® (polisacárido complejo)+ bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
	Proporciones: 2 gr. Agarart® en 12 ml disolvente					
Prueba 8	Gel a partir de Klucel G® (hidroxipropilcelulosa + bisturí	1	Aplicado	Aplicado	Aplicado	Aplicado
	Proporciones: 2 gr. Klucel G® en 12 ml disolvente					
Prueba 9	Fibra de vidrio y bisturí	1	No aplicado	No aplicado	No aplicado	No aplicado

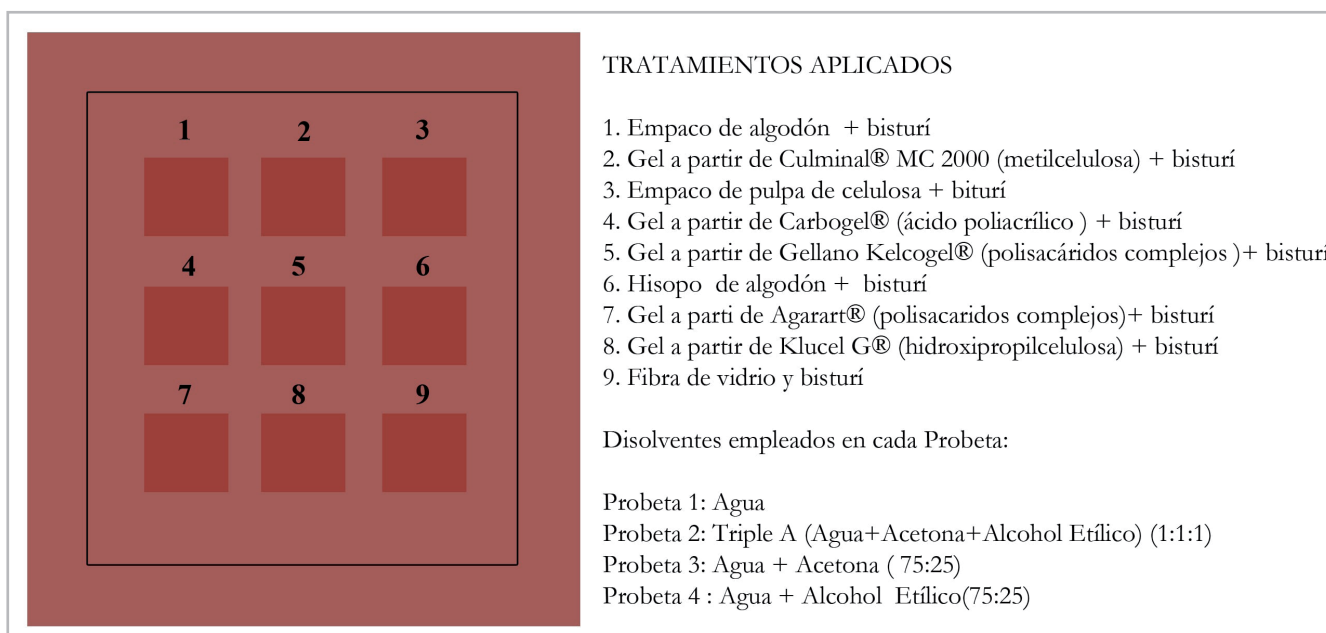


Figura 4.- Recreación de los tratamientos de limpieza aplicados en las probetas.

Parte experimental

Valorar la eficacia de los tratamientos de limpieza de forma objetiva era fundamental para la obtención de unos resultados que sirvan de base para, en futuro, ampliar el estudio de tratamientos de limpieza adecuados para yeserías. Con este fin se han seleccionado los siguientes métodos de evaluación: fotografía digital, microscopía estereoscópica y fotogrametría

—Fotografía digital

La documentación fotográfica constituye en la actualidad una herramienta fundamental para el restaurador, ya que permite constatar de manera fidedigna y objetiva todas las operaciones efectuadas en las obras de arte, así como documentar uno de los procesos irreversibles como es el de la limpieza. Por ello, era fundamental para este trabajo registrar fotográficamente de manera pormenorizada

la superficie de las probetas sometidas a ensayo antes y después de los procesos de limpieza. Para ello se han obtenido una serie completa de fotografías digitales previa y posteriormente a los tratamientos de limpieza, mediante un equipo Canon EOS 1200D y una fuente de iluminación LED blanca.

—Microscopía estereoscópica

Con el objetivo de evaluar los cambios producidos en la superficie original policromada tras la aplicación de las diferentes pruebas de limpieza efectuadas, se realizó una toma sistemática de imágenes con microscopio estereoscópico, completando el análisis visual directo de las mismas. El microscopio utilizado fue un NIKON SMZ 1000 con haz óptico paralelo y cámara integrada para la realización de microfotografías y un factor de zoom 10x, que permite aumentos de 4x a 480 [figura 5].

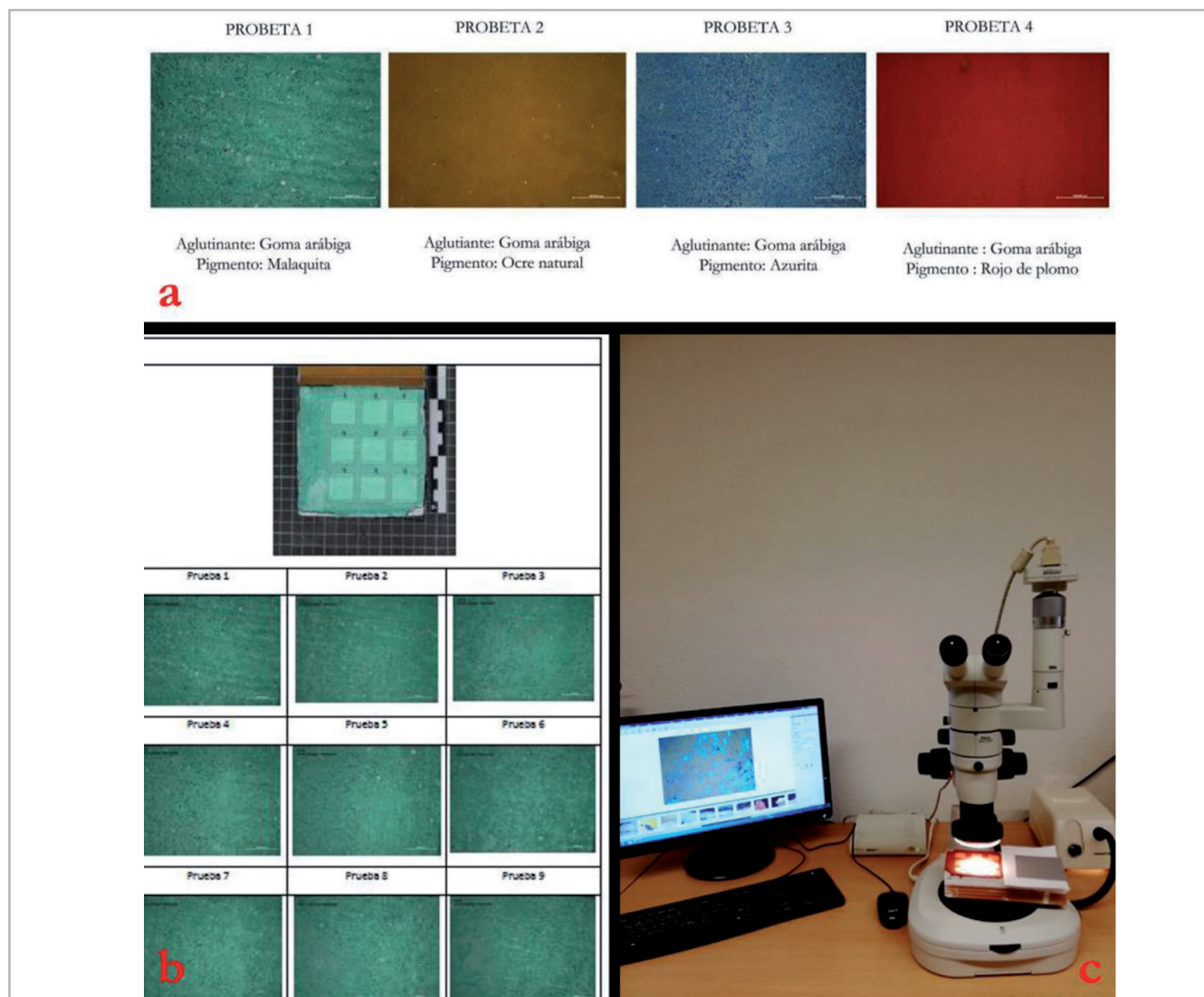


Figura 5.- a) Imágenes de microscopía estereoscópica de la superficie de todos los acabados cromáticos estudiados. b) Ficha de cada probeta. c) Análisis por microscopía estereoscópica tras la realización de las pruebas de limpieza.

—Comparación de modelos fotogramétricos

El desarrollo de software y de obtención de modelos tridimensionales a partir de programas de fotogrametría está aportando en la actualidad nuevas herramientas para los restauradores, aplicables tanto en la conservación como en la restauración de obras de arte. Así, para este trabajo se determinó que podría ser muy interesante la evaluación de los cambios producidos mediante la comparación de modelos fotogramétricos, siguiendo la metodología expuesta por López Martínez *et al.* (2018). El objetivo es estudiar la superficie de la obra antes y después de aplicar el tratamiento de limpieza, para determinar áreas en las que el tratamiento haya sido más efectivo eliminando una mayor cantidad de repolicromía, y por otro, zonas en las que éste no funcionó bien, y su efecto en la superficie original.

Este proceso presenta la ventaja de no ser una técnica invasiva ni destructiva por lo que no solo es aplicable a probetas, sino también a estudios efectuados sobre obra real. El primer paso de esta metodología se basa en la obtención de modelos fotogramétricos de la superficie estudiada a partir de fotografías, empleando el programa AutoDesk Recap.

En la siguiente fase, tras las pruebas de limpieza, se realizan de nuevo los modelos fotogramétricos de las probetas. A partir de éstos, se comparan las mallas obtenidas de cada uno de ellos, empleando en este caso el programa CloudCompare (López Martínez *et al.* 2018). Este programa es un software de procesamiento de nubes de puntos 3D y mallas triangulares gratuito y de libre acceso. En primer lugar, son alineados los modelos fotogramétricos, antes y después de la limpieza, estableciendo el mayor número posible de puntos de referencia, tanto en la capa de policromía como del revestimiento de yeso y en la base de ladrillo industrial [figura 2], para que la alineación de las mallas sea lo más exacta posible, ya que esto es determinante para una correcta comparación. Una vez realizado esto, se procede a la comparación basada en la medición de las distancias entre las mallas de cada modelo. Se toma como referencia la malla del modelo tras aplicar los diferentes tratamientos de limpieza, obteniendo como resultado un mapa de color cuya gama varía del rojo al azul. La gama de colores nos muestra la distancia entre los diferentes puntos de las mallas de los modelos comparados, por lo que en base al color es posible saber si la distancia no ha cambiado, o si por el contrario hay una diferencia entre los mismos puntos de los modelos alineados comparados.

La correcta interpretación de este mapa de color indica la cantidad de material que ha sido retirado en cada uno de los tratamientos de limpieza, lo que ayuda a identificar en qué tratamientos se ha eliminado la repolicromía, la capa de policromía original o incluso parte del soporte de yeso original. La gama de colores se desplaza entre el rojo y el azul, siendo el color rojo el que indica que hay una mayor distancia entre los mismos puntos de ambos modelos a nivel negativo, es decir, pérdida de materia, que en este caso hace

alusión a la pérdida de varias capas de la obra, repolicromía, policromía original e incluso parte de la capa de preparación de yeso. El color azul indica una mayor distancia a nivel positivo, es decir, materia añadida o levantamiento de la materia original. El color verde intenso indica que la distancia no ha cambiado, es decir, aquellas zonas en las que coinciden ambos modelos, y que se corresponde con la capa de repolicromía, son por tanto las zonas donde no ha sido aplicado ningún tratamiento. Finalmente, la gama de color que oscila entre el verde, amarillo, naranja hasta el rojo, muestra que la distancia entre los puntos aumenta respectivamente, es decir, según la profundidad de la materia eliminada, se produce el cambio de color. De este modo el tono verde-amarillento muestran que se ha retirado una capa fina, que coincide con la repolicromía, mientras que los tonos amarillo y amarillo-anaranjado, indican que la capa de materia retirada es mayor, lo que coincide con la eliminación de la repolicromía y la pérdida de parte de la policromía original. Por tanto, los tonos naranjas y rojos revelan que ha sido eliminada una capa más gruesa de materia que los anteriores, es decir, se ha eliminado además de la repolicromía, policromía original e incluso parte de la preparación de yeso.

En el caso del histograma, este representa la cantidad de puntos o valores que han sido comparados entre las mallas de los modelos de las probetas, de antes y de después de la limpieza. Así pues, en el eje de ordenadas se observa la distancia que hay entre esos puntos comparados, de modo que a mayor valor positivo más distancia entre ellos. Mientras que, en el eje de abscisas se muestra la cantidad de dichos puntos comparados que hay por cada nivel de distancia indicada en el eje de ordenadas. Estos puntos se encuentran repartidos siguiendo la misma gama de colores que se aprecia en el mapa de color obtenido de comparar los modelos fotogramétricos. Por tanto, la interpretación de este gráfico es similar a la expuesta anteriormente de este mapa de color. Esto supone que aquellos puntos, que al compararse las mallas de los modelos, están a la misma distancia se presentarán del mismo color en el histograma. Si hay una mayor cantidad de un color es que hay una mayor proporción de puntos a esa distancia. Ahora bien, conforme cambia el color del verde al rojo, el eje de ordenadas indica que la distancia va aumentando respectivamente, y esto implicará que a mayor distancia más cantidad de materia se ha eliminado. Es decir, el histograma nos indica que cantidad de la superficie de la probeta ha experimentado una pérdida de materia, y hasta que profundidad ha sido, y por ende que capas estratigráficas se han visto afectadas.

Resultados

—Fotografía digital y microscopía estereoscópica

En la siguiente tabla [tabla 2] se describen los resultados obtenidos de cada tratamiento aplicado para las diferentes probetas. En la figura 6 puede observarse la comparación del estado de la capa de policromía original antes y

Tabla 2.- Resultados de las diferentes pruebas de limpieza para cada probeta

PROBETA 1			
DISOLVENTE APLICADO	NÚMERO DE LA PRUEBA	TRATAMIENTO APLICADO	TIEMPO DE ACTUACIÓN
Agua	Prueba 1	Empaco de algodón + bisuri	30 minutos
	Prueba 2	Gel a partir de Culminal MC2000® (metilcelulosa) + bisuri	15 minutos
	Prueba 3	Empaco de pulpa de celulosa + bisuri	30 minutos
	Prueba 4	Gel a partir de Carbogel® (ácido poliacrílico) + bisuri	20 minutos
	Prueba 5	Gel a partir de Gellano Kcelogel® (polisacárido complejo) + bisuri	20 minutos
	Prueba 6	Hisopo + bisuri	X
	Prueba 7	Gel a partir de Agarart® (polisacárido complejo) + bisuri	30 minutos
	Prueba 8	Gel a partir de Klucel G® (hidroxipropilcelulosa) + bisuri	30 minutos
	Prueba 9	Fibra de vidrio y bisuri	X
RESULTADO DE LOS TRATAMIENTOS			
La repolicromía se reblandece en exceso, perdiendo toda la policromía original.			
La repolicromía se reblandece y favorece su eliminación, se retira parte de la policromía original.			
La repolicromía se reblandece en exceso, se elimina toda la policromía original.			
La repolicromía se reblandece y favorece su eliminación, se retira parte de la policromía original.			
La repolicromía se reblandece, se retira parte de la policromía original, y el gel deja residuos			
Genera un efecto de bruido, y al insistir se elimina la policromía original.			
Ninguno			
PROBETA 2			
DISOLVENTE APLICADO	NÚMERO DE LA PRUEBA	TRATAMIENTO APLICADO	TIEMPO DE ACTUACIÓN
Triple A Agua + Alcohol etílico + Acetona (1:1:1)	Prueba 1	Empaco de algodón + bisuri	40 minutos
	Prueba 2	Gel a partir de Culminal MC2000® (metilcelulosa) + bisuri	25 minutos
	Prueba 3	Empaco de pulpa de celulosa + bisuri	40 minutos
	Prueba 4	Gel a partir de Carbogel® (ácido poliacrílico) + bisuri	30 minutos
	Prueba 5	Gel a partir de Gellano Kcelogel® (polisacárido complejo) + bisuri	30 minutos
	Prueba 6	Hisopo + bisuri	X
	Prueba 7	Gel a partir de Agarart® (polisacárido complejo) + bisuri	40 minutos
	Prueba 8	Gel a partir de Klucel G® (hidroxipropilcelulosa) + bisuri	40 minutos
	Prueba 9	Fibra de vidrio y bisuri	X
RESULTADO DE LOS TRATAMIENTOS			
La repolicromía se reblandece, parte de la policromía original es eliminada.			
La repolicromía se reblandece en exceso, se elimina casi la totalidad de la policromía original.			
La repolicromía se reblandece, se elimina parte de la policromía original.			
La repolicromía se reblandece en exceso y se lleva casi la totalidad de la policromía original.			
La repolicromía se reblandece en exceso y se lleva casi la totalidad de la policromía original.			
Se eliminan por completo la policromía original llegando			
Ninguno			
PROBETA 3			
DISOLVENTE APLICADO	NÚMERO DE LA PRUEBA	TRATAMIENTO APLICADO	TIEMPO DE ACTUACIÓN
Agua + Acetona (75:25)	Prueba 1	Empaco de algodón + bisuri	30 minutos
	Prueba 2	Gel a partir de Culminal MC2000® (metilcelulosa) + bisuri	20 minutos
	Prueba 3	Empaco de pulpa de celulosa + bisuri	30 minutos
	Prueba 4	Gel a partir de Carbogel® (ácido poliacrílico) + bisuri	20 minutos
	Prueba 5	Gel a partir de Gellano Kcelogel® (polisacárido complejo) + bisuri	20 minutos
	Prueba 6	Hisopo + bisuri	X
	Prueba 7	Gel a partir de Agarart® (polisacárido complejo) + bisuri	30 minutos
	Prueba 8	Gel a partir de Klucel G® (hidroxipropilcelulosa) + bisuri	30 minutos
	Prueba 9	Fibra de vidrio y bisuri	X
RESULTADO DE LOS TRATAMIENTOS			
La repolicromía se reblandece y quedan restos, se elimina gran parte la policromía original.			
La repolicromía se reblandece, se retira casi en su mayoría sin dañar en exceso la policromía original.			
Elimina por completo la policromía original llegando incluso a la capa de preparación.			
La repolicromía se reblandece, se elimina gran parte la policromía original, quedando restos de este.			
La repolicromía se reblandece, se elimina casi en su mayoría si dañar en exceso la policromía original.			
Elimina por completo la policromía original llegando en algunas zonas a la capa de preparación.			
La repolicromía se reblandece, se retira casi en su mayoría sin dañar en exceso la policromía original.			
Elimina por completo la policromía original llegando incluso a la capa de preparación.			
Ninguno			
PROBETA 4			
DISOLVENTE APLICADO	NÚMERO DE LA PRUEBA	TRATAMIENTO APLICADO	TIEMPO DE ACTUACIÓN
Agua + Alcohol etílico (75:25)	Prueba 1	Empaco de algodón + bisuri	30 minutos
	Prueba 2	Gel a partir de Culminal MC2000® (metilcelulosa) + bisuri	25 minutos
	Prueba 3	Empaco de pulpa de celulosa + bisuri	30 minutos
	Prueba 4	Gel a partir de Carbogel® (ácido poliacrílico) + bisuri	30 minutos
	Prueba 5	Gel a partir de Gellano Kcelogel® (polisacárido complejo) + bisuri	30 minutos
	Prueba 6	Hisopo + bisuri	X
	Prueba 7	Gel a partir de Agarart® (polisacárido complejo) + bisuri	30 minutos
	Prueba 8	Gel a partir de Klucel G® (hidroxipropilcelulosa) + bisuri	30 minutos
	Prueba 9	Fibra de vidrio y bisuri	X
RESULTADO DE LOS TRATAMIENTOS			
La repolicromía se retira por completo sin apenas dañar la policromía original.			
La repolicromía se elimina en parte, no se reblandece por igual, se elimina la policromía original.			
La repolicromía se retira de manera efectiva, la policromía original es dañada muy poco			
La repolicromía se retira de manera efectiva, la policromía original es dañada muy poco			
La repolicromía se elimina, pero a la vez también se elimina parte de la policromía original.			
La repolicromía se retira de manera efectiva, a policromía original se ve dañada muy escasamente			
La repolicromía se elimina, pero a la vez también se elimina la policromía original.			
Ninguno			

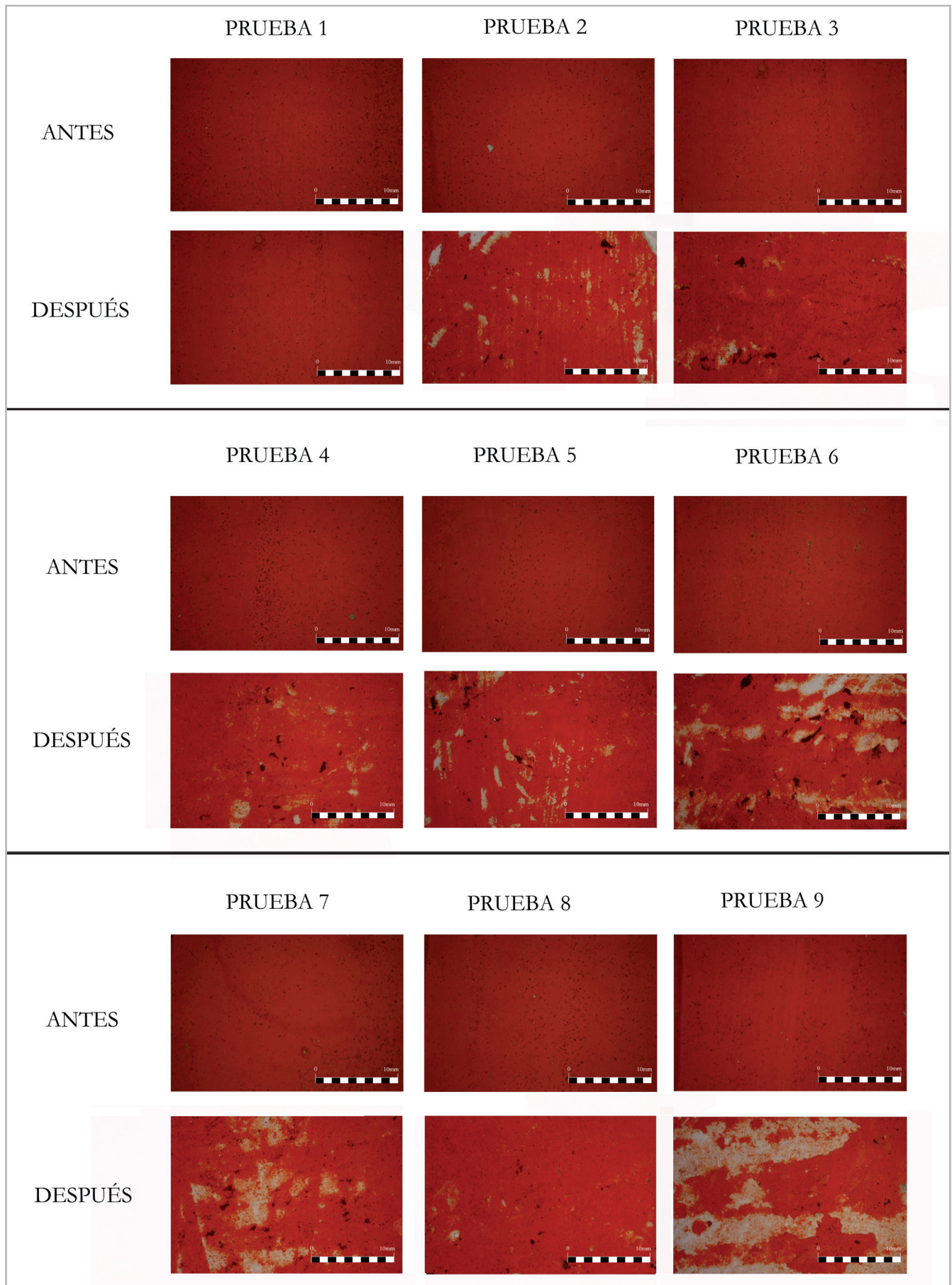


Figura 6.- Comparación de la superficie de policromía original antes y después de aplicar los tratamientos de limpieza, en este caso de la probeta 4. Imágenes tomadas mediante microscopía estereoscópica de la zona de limpieza acotada por la plantilla de limpieza

después de la aplicación de los tratamientos de limpieza, concretamente en la Probeta 4, a partir de las imágenes obtenidas.

—Comparación de los modelos fotogramétricos

En primer lugar, debe indicarse que las zonas donde la repolicromía no ha sido alterada, aquellas zonas fuera de la plantilla donde no se han efectuado tratamientos, se corresponden con el color verde intenso de las imágenes mostradas con fotogrametría. Esto se extiende a todas las probetas.

- Probeta 1: disolvente agua:

En la Probeta 1, en algunas áreas de las pruebas 2 y 9 la repolicromía no ha sido eliminada y por tanto se aprecia

el color verde. En las pruebas 5, 6, 7 y 8 y algunas zonas de la prueba 4 ha sido posible eliminar la repolicromía manteniendo la policromía original. Estas zonas muestran una tonalidad verde-amarillenta. En el caso de las pruebas 1, 3 y 7 y algunas zonas de las pruebas 2, 4 y 9 tanto la repolicromía como parte de la policromía original han sido eliminadas, y por tanto presentan un color amarillo. Es importante destacar que las diferencias son muy sutiles debido a que se trata de estratos de mínimo espesor tal y como puede apreciarse en el histograma, concretamente en el eje de coordenadas, lo cual sucede para todas las probetas [figura 7]. En el caso concreto de esta probeta, el eje de abscisas del histograma muestra que hay una mayor cantidad de color desde el verde claro al amarillo, esto indica que hay una mayor proporción de puntos comparados que se encuentra a la distancia marcada para esos colores en el eje de coordenadas. Por tanto, hay una mayor cantidad de la superficie de

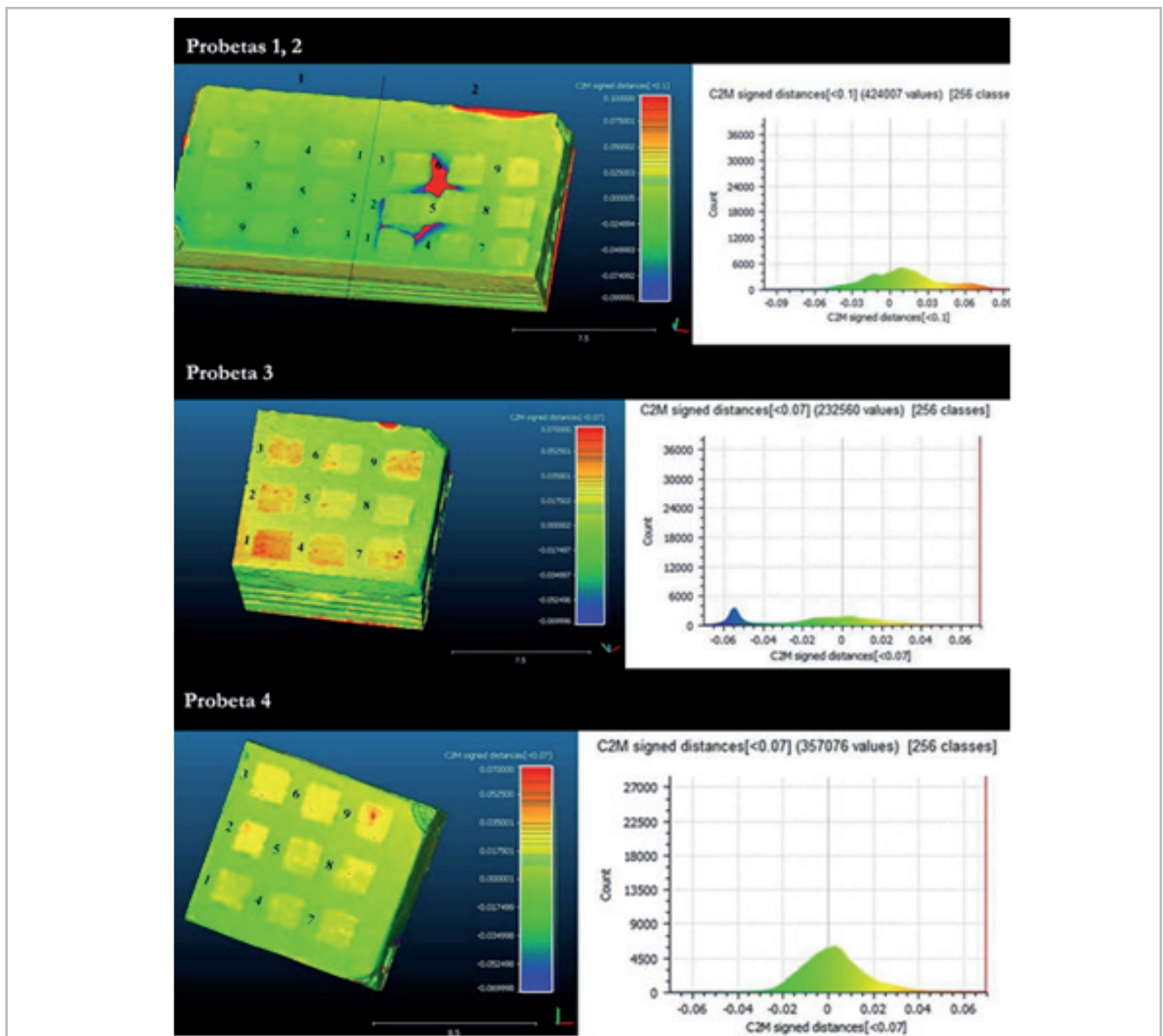


Figura 7.- Comparación con CloudCompare de los modelos fotogramétricos de la probeta 1, 2, 3, 4 e histograma de distribución

la probeta que muestra una eliminación de materia hasta llegar a ese nivel de profundidad, es decir, que la mayoría de las pruebas empleadas han alcanzado ese nivel de profundidad en la limpieza, eliminando la capa de repolicromía, pero también la policromía original como en el caso de las pruebas que presentan zonas en amarillo. [figura 7].

- Probeta 2: disolvente triple A (Agua + Acetona + Alcohol Etilico 1:1:1)

En la Probeta 2, sólo las pruebas de limpieza 1, 2, 4, 5 y 7 mantienen restos de restos de policromía original tras las limpiezas. En ellas puede apreciarse una tonalidad verde-amarillenta. En este caso el histograma muestra que efectivamente hay una mayor cantidad de zonas verde-amarillento, es decir, de puntos comparados que se encuentran a esa distancia o profundidad. Esto se traduce en que la mayoría de los tratamientos aplicados en estas pruebas han eliminado materia hasta esa profundidad [figura 7]. En el resto de pruebas, 3, 6, 8, y 9, tanto la repolicromía como parte de la capa de policromía original ha sido eliminada, estas zonas muestran un color amarillo cada vez más intenso al aumentar la cantidad de material que ha sido retirado [figura 7]. El histograma también refleja que hay una gran cantidad de zonas en las que se ha llegado a una profundidad aun mayor, como se indica en el conjunto de puntos comparados representado por el color amarillo, y por tanto esto muestra que se ha eliminado más materia en este tipo de tratamientos, llegando a capas más profundas, concretamente hasta la capa de policromía original. No obstante, también se aprecian una cantidad interesante de puntos de color verde-amarillento, por lo que hay pruebas de limpieza en las que se ha eliminado materia que sólo pertenecía a la repolicromía. [figura 7].

- Probeta 3: disolvente Agua+Acetona (75:25)

En el caso de la Probeta 3, en las pruebas 1, 2, 3 y 9 y algunas zonas de las pruebas 4 y 7, se ha eliminado la repolicromía, pero también parte de la policromía original, estas zonas presentan un color amarillo intenso e incluso amarillo-anaranjado. En las pruebas 1, 2, 3 y algunas áreas de las pruebas 5, 6, 7 y 9, se ha eliminado la repolicromía y la policromía original, llegando al revestimiento de yeso como puede comprobarse en el color naranja y rojo. En las pruebas 5, 6 y 8, y algunas zonas de la prueba 7, se ha eliminado la repolicromía, respetando la policromía original, estas zonas muestran un color verde-amarillento [figura 7]. En este caso el histograma muestra que hay una mayor cantidad de puntos comparados entre las mallas representados por los colores desde el verde al amarillo. Esto supone que hay muchas zonas de la superficie de la probeta donde se han aplicado los tratamientos de limpieza y se ha eliminado materia hasta esa profundidad, eliminando por tanto las capas de repolicromía pero también de algunos casos de policromía original [figura 7].

- Probeta 4: disolvente Agua+Alcohol etílico (75 : 25)

En la Probeta 4, en las pruebas 2, 3, 6 y 9 y algunas zonas de la prueba 8 se ha eliminado la repolicromía, y parte de la policromía original, en ellas observamos un color amarillo. En zonas de estas mismas pruebas 2, 3, 6, 8 y 9 se ha eliminado la repolicromía, pero también la policromía original, llegando al revestimiento de yeso, por tanto presentan una coloración naranja y roja. En las pruebas 1, 4, 5, 7 y parte de la 8 se ha eliminado la repolicromía, pero manteniendo parte de la policromía original, éstas muestran el color verde-amarillento. Teniendo en cuenta el histograma, de nuevo puede apreciarse que existe una mayor cantidad de puntos representados por los colores desde el verde al amarillo. Por tanto, hay una mayor cantidad de superficie de la probeta donde al aplicar los tratamientos se ha eliminado materia hasta profundidad. En este caso es mayor la cantidad de puntos de color verde-amarillento, por lo que hay más pruebas en las que se ha eliminado la capa de repolicromía. Aunque en algunos casos, pero en menor medida, si es cierto que se ha llegado a eliminar hasta la capa de policromía original, serían los puntos vinculados al color amarillo [figura 7].

Discusión de resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de la metodología empleada, basada en una documentación fotográfica, examen por microscopía estereoscópica, elaboración de modelos fotogramétricos, así como su comparación mediante un programa de análisis de mallas, permiten determinar que los tratamientos que posibilitan retirar más cantidad de repolicromía, dañando mínimamente la policromía original de la obra, han sido aquellos basados en la elaboración de geles, como vehículos del disolvente, a partir de polisacáridos complejos, y los elaborados a partir de éteres de celulosa, más exactamente la hidroxipropilcelulosa. Estos geles aplicados con los disolventes agua, agua y acetona (75:25) y agua y alcohol (75:25) han sido los más efectivos [tabla 3].

En menor medida, otros tratamientos también han dado buenos resultados en la eliminación de la repolicromía de temple de cola animal, pero en algunas zonas han afectado a la policromía original. Estos tratamientos han sido los geles elaborados a partir de ácido poliacrílico Carbogel[®], con los disolventes agua, agua y acetona (75:25) y agua y alcohol (75:25), el empaco de algodón aplicado con agua y acetona (75:25) y el gel elaborado con metilcelulosa y el disolvente y agua y alcohol (75:25) [tabla 3].

La efectividad de estos métodos reside en su forma de aplicación. Al aplicarse como geles es posible controlar el grado de penetración y el tiempo de actuación, de esta forma hay un menor riesgo de dañar la obra, el tratamiento puede aplicarse en zonas concretas el tiempo deseado y eliminarse fácilmente sin dejar residuos. Sólo los tratamientos con geles elaborados a partir de hidroxipropilcelulosa

Tabla 3.- Tratamientos aplicados sobre las probetas con mejores resultados en la eliminación de repolicromados de temple de cola, y su composición

TRATAMIENTOS CON MEJORES RESULTADOS		
TRATAMIENTOS APLICADOS	PROBETA EN LA QUE HA SIDO APLICADO	COMPOSICIÓN DE LOS GELES ELABORADOS
Gel elaborado a partir del polisacárido complejo Gellano Kelcogel®	Probeta 1- Prueba 5	1 gramo de Gellano kelcogel® en 40 ml de disolvente Disolvente: : 40 ml agua desionizada.
	Probeta 3- Prueba 5	1 gramo de Gellano kelcogel® en 40 ml de disolvente Agua y Acetona (75:25) Disolvente: 30 ml de agua desionizada y 10 ml de acetona.
	Probeta 4 - Prueba 5	1 gramo de Gellano kelcogel® en 40 ml de disolvente Agua y Alcohol etílico (75:25) Disolvente: 30 ml de agua desionizada y 10 ml de alcohol etílico
Gel elaborado a partir del polisacárido complejo Agarart®	Probeta 1 - Prueba 7	2 gramos de Agarart® en 12 ml de disolvente Disolvente: : 12 ml agua desionizada
	Probeta 3 - Prueba 7	2 gramos de Agarart® en 12 ml de disolvente Agua y Acetona (75:25) Disolvente: 9 ml de agua desionizada y 3 ml de acetona.
	Probeta 4 - Prueba 7	2 gramos de Agarart® en 12 ml de disolvente Agua y Alcohol etílico(75:25) Disolvente: 9 ml de agua desionizada y 3 ml de alcohol etílico
Gel elaborado a partir de hidroxipropilcelulosa Klucel G®	Probeta 1 - Prueba 8	2 gramos hidroxipropilcelulosa Klucel G® en 12 ml de disolvente Disolvente: : 12 ml agua desionizada.
	Probeta 3 - Prueba 8	2 gramos de hidroxipropilcelulosa Klucel G® en 12 ml de disolvente Agua y Acetona (75:25) Disolvente: 9 ml de agua desionizada y 3 ml de acetona.
	Probeta 4 - Prueba 8	2 gramos de hidroxipropilcelulosa Klucel G® en 12 ml de disolvente Agua y Alcohol etílico(75:25) Disolvente: 9 ml de agua desionizada y 3 ml de alcohol etílico
OTROS TRATAMIENTOS CON BUENOS RESULTADOS		
TRATAMIENTOS APLICADOS	PROBETA EN LA QUE HA SIDO APLICADO	COMPOSICIÓN DE LOS GELES ELABORADOS
Gel elaborado a partir ácido poliacrílico Carbolgel®	Probeta 1 - Prueba 4	0,2 gramos de ácido acrílico Carbolgel® en 20 ml de disolvente Disolvente: : 20 ml agua desionizada.
	Probeta 3 - Prueba 4	0,2 gramos de ácido acrílico Carbolgel® en 20 ml de disolvente Agua y Acetona (75:25) Disolvente: 15 ml de agua desionizada y 5 ml de acetona.
	Probeta 4 - Prueba 4	0,2 gramos de ácido acrílico Carbolgel® en 20 ml de disolvente Agua y Alcohol etílico (75:25) Disolvente: 15 ml de agua desionizada y 5 ml de alcohol etílico
Empaco de algodón	Probeta 3 - Prueba 1	Empaco de algodón con la mezcla de disolventes Agua + acetona (75:25)
Gel elaborado a partir de metilcelulosa Culminal® MC2000	Probeta 4 - Prueba 2	1 gramo de metilcelulosa Culminal® MHPC 20000 en 12 ml de disolvente Agua y Alcohol (75:25) Disolvente: 9 ml agua desionizada y 3 ml de alcohol etílico

(Klucel G®) y el gel de metilcelulosa (Culminal® MC2000) pueden presentar ciertos inconvenientes, ya que pueden mostrar cierto carácter adhesivo; de ahí la importancia de la proporción en la que han sido elaborados todos los geles para este trabajo. También destacar la necesidad de interponer un papel japonés para evitar que, si se generan residuos, estos puedan quedar sobre la superficie original. En este estudio sólo se han observado residuos en el caso del gel elaborado a partir de hidroxipropilcelulosa (Klucel G®), independientemente del disolvente usado.

Por otra parte, los tratamientos menos efectivos, independientemente del disolvente empleado, han sido:

- Empaco de pulpa de celulosa
- Empaco de algodón
- Hisopo con bisturí
- Fibra de vidrio y bisturí

Esto se debe en parte a que con los empacos e hisopos es más difícil controlar el grado de penetración, siendo el problema fundamental la impregnación del material de base, en este caso el yeso. Los últimos tratamientos son los

mecánicos, mucho más agresivos y dañinos, sobre todo en superficies tan delicadas como son las capas policromas en yeserías.

Considerando lo anterior, este trabajo ha supuesto un punto de partida para continuar una investigación más completa, que se pretende ampliar tanto con el número de tratamientos como con la aplicación de aquellos que sean más efectivos sobre obra real.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por varios proyectos, entre ellos el de "Estudio científico y tratamientos de conservación de revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval" (HAR2015-66139-P), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), así como el proyecto "Decoración arquitectónica de tradición islámica. materiales y técnicas de ejecución" (HAR 2011-27598) del Ministerio de Innovación y Ciencia.

Referencias

- ANZANI, M., BERZIOLI, M., CAGNA, M., CAMPANI, E., CASOLI, A., CREMONESI, P., FRATELLI, M., RABBOLINI, A. Y RIGGIARDI, D. (2008). *Gel rigidi di Agar per il trattamento di pulitura di manufatti in gesso. Use of Rigid Agar Gels for Cleaning Plaster Objects*. Saonara: Il Prato.
- AZCÁRATE LUXÁN, M., GONZÁLEZ HERNANDO, I., MANZARBEITIA VALLE, S. Y MONGE ZAPATA A. (2010). "Las pinturas murales de la iglesia de San Pedro de Torremocha de Jarama", *Anales de Historia del Arte*, Universidad Complutense de Madrid, Vol Extraordinario: 151-170
- BORGIOLO, L. (2002). "Espesantes para disolventes. Espesantes para soluciones acuosas," en *Materiali tradizionali ed innovativi nella pulitura dei dipinti e delle opere policrome mobile: Atti del primo congresso internazionale Colore e Conservazione*, Piazzola su Brenta (PD), 25-26 ottobre 2002, Padua: Il Prado, 1-7.
- BORGIOLO, L., & CREMONESI, P. (2005). *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere polichrome*. Padua: Il Prato.
- BRUQUETAS GALÁN, R (1994). "El trabajo de la yesería en España", en *La obra en yeso repolicromado de los Corral de Villalpando*, Gómez Espinosa, T. (Coord.). Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 75-83.
- CALERO CASTILLO, A.I. (2016). *Materiales, técnicas y procedimientos en la decoración arquitectónica. Aplicaciones a la conservación y restauración de las yeserías del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla*. Granada: Universidad de Granada.
- CALERO CASTILLO, A.I., GARCÍA BUENO, A., LÓPEZ CRUZ, O. Y MEDINA FLÓREZ, V.J. (2016). "Las yeserías del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. Avance de resultados de la caracterización de materiales y la técnica". *Al-Qantara*, 37(1):129-141.
- CALERO-CASTILLO, A.I., GARCÍA-BUENO, A., LÓPEZ-CRUZ, O. Y MEDINA-FLÓREZ, V.J. (2017). "La policromía original de las yeserías del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. Materiales constitutivos y técnicas de ejecución", *Arqueología y Territorio Medieval*, 24: 255-290.
- CANTOS MARTÍNEZ, O. Y LABORDE MARQUEZE, A. (2003). "Proyecto de restauración del Retablo Mayor del Monasterio de Santa María del Paular Rascafría", *Bienes culturales: revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, 2: 137-148.
- CREMONESI, P. (2004). *L'uso dei solventi organici nella pulitura di opere policrome*. Saonara: Il Prato.
- DEVILLANUEVA, L. (2012). "Yeserías españolas: Propuesta de tipología histórica". *Informes de la Construcción*. Madrid: Escuela Técnica Superior Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid, 64: 7-12.
- DEL ORDI CASTILLA, B.; REGIDOR ROS, J.L. Y PASIES OVIEDO, T. (2010). "Revisión de tratamientos de limpieza de pintura mural arqueológica. Eliminación de concreciones carbonáticas". *Arché*, 4 y 5: 73-80.
- DOMINGUEZ VIDAL, A., DE LA TORRE LOPEZ, M. J., RUBIO-DOMENE, R. Y AYORA CAÑADA, M.J. (2012). In situ noninvasive Raman microspectroscopic investigation of polychrome plasterworks in the Alhambra. *Analyst*, 137(24). 5763-5769.
- ESTREMER LINARES M.J., CORREA GÓMEZ E., RUBIO DOMENE R., CARREÑO ROBLES E., GÓMEZ VÍLCHEZ S. Y CARO RODRÍGUEZ E. (2014). *Manual de Buenas Prácticas Restauración de madera, yeso y cerámica*, Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife.
- FERNÁNDEZ PUERTAS, A. (1997). *The Alhambra I. From the Ninth century to Yusuf I (1354)*. London: Saqui Books.
- GARATE ROJAS, I. (1999). *Arte de los yesos. Yaserías y estucos*; Madrid: Munilla-Lería.
- GARCÍA BUENO, A., HERNÁNDEZ PABLOS, A., MEDINA FLÓREZ, V.J. (2010a). "Las yeserías del Oratorio de la Madraza de Yusuf, Granada. Aportaciones de la documentación gráfica a la determinación de las zonas originales y añadidos en el estudio preliminar". *Al-Qantara*, 1(31): 257-267.
- GARCÍA BUENO, A., MEDINA FLÓREZ, V.J Y GONZÁLEZ SEGURA, A. (2010b). "La policromía de yeserías del Oratorio de la Madraza de Yusuf, Granada. Primeras aportaciones del estudio de materiales para la localización de zonas originales y añadidos". *Al-Qantara*, 1 (31): 245-256.
- GARCÍA BUENO, A. Y MEDINA FLOREZ, V.J. (2004). "The Nasrid plasterwork at qubba Dar al-Manjara I-kubra in Granada: characterisation of materials and techniques". *Journal of Cultural Heritage*: 5, 1.1: 75-89.
- GREGORI, GIULIA (2015). "Conservation and restoration of two wall painting fragments by Bernardino Luini." *CeroArt Conservation, exposition, restauration d'objets d'art*. 5. <https://journals.openedition.org/ceroart/4924> [19/10/2019].
- GUIRAL PELEGRÍN, C. Y MARTÍN BUENO, M. (1996). *Bilbilis I. Decoración pictórica y estucos ornamentales*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- HUBBARD, C. (1993). "Alabaster Conservation". *Victoria and Albert Museum*, 7: 1-3.
- NANORESTART-EU PROJECT (Nanomaterials for the Restoration of Works of Art) (2018). http://www.nanorestart.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=285&Itemid=764. 10/12/2018]
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, T, GARCÍA-BUENO, A Y MEDINA-FLÓREZ, V.J (2018). "New methodology for the assessment of cleaning treatments. Applications of photogrammetry for restoration". *Journal of Cultural Heritage*, 30: 117-123.
- MAS I BARBERÁ, X. (2010). *Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamiento*. Valencia: Universidad politécnica de Valencia.
- MORA, P, MORA L, PHILLIPPOT, P (1984). *Conservation of Wall Paintings*. Scotland: Butterworths.

MUSEO DEL PRADO (2013). "Restauración de Nerón y Séneca". Disponible en: <http://www.museodelprado.es/investigacion/restauraciones/restauracion-de-emneron-y-senecaem-de-eduardo-barron/> [consulta 18/09/2019]

RUBIO DOMENE, R (2010). *Yeserías de la Alhambra. Historia, técnica y conservación*. Granada: Universidad de Granada.

SANZ ARAUZ, D., Y VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, L. (2009). "Evolución de los morteros históricos de yeso al exterior en la España Central". En *Actas del Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Valencia: Instituto Juan de Herrera, 1329-1336.

SAKR, A. A., GHALY, M. F., ALI, M. F., Y ABDEL-HALIEH, M. E. F. (2013). "Biodeterioration of binding media in tempera paintings by *Streptomyces* isolated from some ancient Egyptian paintings". *African Journal of Biotechnology*, 12(14): 1644-1656.

VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, L. (2004). "Evolución histórica de la construcción en yeso." *Informes de la construcción. Especial yeso*. Madrid, Insituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 56: 5-11.

ZAMORA RODRÍGUEZ, H. (2014). La conservación y restauración de la gipsoteca de la escuela de artes plásticas de la Universidad de Costa Rica. *Revista Humanidades*, 4:1-11.

Autodesk. RecapPhoto (2019): <https://www.autodesk.es/>

CloudCompare (2018): <https://www.danielgm.net/cc/>

Autor/es



Eva Vicar García
evavivargarcia@gmail.com
Parque Arqueológico del Molinete

Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universidad de Granada en el curso 2014-2019. Realizó prácticas en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQUA) y en el Parque Arqueológico del Molinete, donde actualmente trabaja como técnico de Conservación y Restauración



Ana Isabel Calero Castillo
anacalero@ugr.es
Universidad de Granada

Doctora en Artes, especialidad Técnicas de Restauración y conservación de obras de arte con mención internacional. Actualmente es profesora sustituta interina en el departamento de Pintura de la Universidad de Granada. Ha realizado dos estancias

formativas en Roma (Italia) en los laboratorios de restauración de pintura mural del ISCR, lo que le ha permitido trabajar en la restauración de revestimientos murales de Pompeya, el ciclo pictórico de Sant'Agata que se encuentra en Largo dei mutilati ed invalidi da guerra así como en las estancias de Piranesi de época romana situadas en Villa Massenzio en el Appia Antica entre otras. En la actualidad trabaja en dos proyectos I+D+i, uno de ellos orientado a la creación y evaluación de modelos de durabilidad y conservación preventiva de elementos decorativos a partir de las yeserías históricas del Real Alcázar de Sevilla (Proyecto PGC2018-093470-B-I00) y otro al estudio científico y tratamientos de conservación (limpieza y consolidación fundamentalmente) en revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval. (HAR2015-66139-P).



Ana García Bueno

anagar@ugr.es

Directora del Departamento de Pintura de la Universidad de Granada

Profesora Titular del Departamento de Pintura, especialidad de Restauración, actualmente directora del Departamento de Pintura de la UGR. Ha sido miembro investigador en diversos proyectos competitivos de I+D orientados a la recuperación del color en la arquitectura y al estudio de los revestimientos cromáticos, sobre todo en la Arquitectura Islámica. En relación con su actividad profesional, ha participado en diversos proyectos de restauración de pintura mural, entre los que destacan los trabajos llevados a cabo en Qsair 'Amra (Jordania), miembro integrante del asesoramiento facultativo durante la intervención en los elementos decorativos del Cuarto Real de Santo Domingo; los estudios previos de la Madraza y de varios espacios del Real Alcázar de Sevilla como la fachada del palacio de Pedro I o la decoración arquitectónica del patio de las Doncellas, así como los revestimientos romanos de *Cástulo*. Fruto de estas investigaciones se han publicado numerosos artículos en revistas indexadas y ha dirigido varias tesis doctorales.

Artículo enviado el 01/12/2019
Artículo aceptado el 15/03/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.719>