



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Recomendaciones para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica

Águeda Sáenz Martínez

Resumen: Desde los años setenta, la eliminación de depósitos calcáreos en cerámicas ha sido una de las intervenciones más habituales en la Conservación – Restauración (CR) en Arqueología. Estos tratamientos suelen implicar un producto químico, para reducir la dureza de los depósitos, que después son eliminados mecánicamente. Estos procedimientos siguen vigentes, a pesar de que ya desde finales de la década de los 90 se demostró que provocaban graves daños en las piezas afectadas, como modificaciones en su composición y daños físicos superficiales. Este fue el inicio de una investigación llevada a cabo con el objetivo de establecer la eficacia y seguridad de estos tratamientos, incluyendo métodos de aplicación directos, como la inmersión, e indirectos, como los geles físicos y químicos. Este trabajo contiene una serie de recomendaciones prácticas derivadas de los resultados de la investigación, con la finalidad de acercarlos a la comunidad de la CR y optimizar estas intervenciones.

Palabras clave: depósitos superficiales, inmersión, geles físicos, geles químicos, ácido acético, ácido nítrico, EDTA, conservación

Recommendations for the removal of calcareous deposits on archaeological ceramics

Abstract: Since the 1970s, the removal of calcareous deposits on ceramics has been one of the most common interventions in Conservation-Restoration (CR) in Archaeology. These treatments usually involve a chemical product to reduce the hardness of the deposits, which are then removed mechanically. These procedures are still in use, despite the fact that since the end of the 1990s it has been shown that they caused serious damage to the affected pieces: changes in their composition and physical surface damage. This was the starting point of a research carried out with the aim of assessing the efficacy and safety of these treatments, including direct application methods, such as immersion, and indirect ones, such as physical and chemical gels. This work contains a series of recommendations derived from the research results, with the aim of bringing them closer to the CR community and improving these interventions.

Keywords: surface deposits, immersion, physical gels, chemical gels, acetic acid, nitric acid, EDTA, conservation

Introducción

Los tratamientos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica constituyen una de las intervenciones más comunes. Este tipo de procedimiento implica la eliminación de material ajeno a las piezas que interfiere tanto con sus valores estéticos como con su interpretación. No obstante, es una intervención compleja debido al riesgo de dañar el material cerámico original y a su carácter irreversible (Caple 2000). Por este motivo, no debe realizarse si se considera que dichos depósitos aportan valor a las piezas al contener, por ejemplo, información relevante para su estudio (Buys y Oakley 1993: 84).

Aunque la eliminación con medios mecánicos pueda resultar a priori más sencilla, su alta dureza dificulta en gran

medida su eliminación. Además, resulta muy complejo controlar estos tratamientos sin dañar la superficie de las piezas intervenidas, especialmente en cerámicas cuyas pastas presentan baja cohesión (Berduco 1990: 30). Para minimizar estos riesgos, se ha optado en muchos casos por combinar la acción mecánica con una acción química previa que disminuya la dureza de los depósitos, facilitando su posterior eliminación con medios mecánicos como bisturíes, escalpelos o vibroincisores.

La acción química que reblandece los depósitos calcáreos se basa en la transformación del carbonato cálcico, una sal insoluble, en compuestos solubles (Berduco 1990:101). Los productos más utilizados son los ácidos y los agentes quelantes, aunque también se usan mezclas como la papeta AB-57 y la pasta mora. Más recientemente

se han incorporado otros productos como las resinas de intercambio iónico y el dióxido de carbono (CO_2), pero no se usan de forma sistemática (Coladonato et al. 2013; Carrascosa Moliner 2009: 92; Casaletto et al. 2008; Fernández Ibáñez 2003; Osa Pons 2003). Respecto a las concentraciones de estos productos no existe un consenso claro. Aunque en la actualidad se aboga por concentraciones más bajas del 3 al 10 %, tradicionalmente se usaban concentraciones más altas, entre un 10 y un 20 %, tanto de manera directa por inmersión como mediante aplicación indirecta (Carrascosa Moliner 2009: 97). A pesar de su alta eficacia, el principal inconveniente de estos productos es su falta de especificidad, ya que tanto pueden reaccionar con el carbonato cálcico de los depósitos como con el que presentan las pastas cerámicas en su composición original, lo que implica un riesgo potencial para su conservación. Incluso en piezas con bajo contenido en carbonato de calcio, la efervescencia generada por la reacción con los productos ácidos puede provocar un efecto abrasivo en las superficies intervenidas (Buys y Oakley 1993: 22). Este fenómeno ha sido corroborado por diversas investigaciones utilizando disoluciones de ácido clorhídrico, ácido acético y ácido nítrico (HCl , HCH_3COO y HNO_3 , respectivamente) a concentraciones entre 2,5 y 5 % v/v (Sáenz Martínez et al. 2024; Sáenz-Martínez et al. 2021; Johnson et al. 1995). Por otro lado, la acción de los agentes quelantes consiste en la formación de complejos estables con iones metálicos, siendo una intervención menos drástica y más fácil de controlar que la de los ácidos, por lo que pueden aplicarse con una mayor seguridad en lo que respecta a las piezas cerámicas. Los productos más utilizados incluyen el hexametáfosfato de sodio (Calgón) y las sales sódicas (mono-, di-, tri- o tetrasódica) del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Berduco 1990: 101). En cuanto a los métodos de aplicación, la forma más sencilla y directa es la inmersión, frente a los métodos indirectos como las papetas, los agentes espesantes (agar, goma xantano, etc.) y los geles químicos. Algunas recomendaciones indican un tiempo de aplicación de entre 5 y 60 minutos, aunque dependerá del producto, método de aplicación y de las características del depósito a eliminar, atendiendo especialmente a su composición y dureza (Carrascosa Moliner 2009: 97).

A pesar de que desde hace tiempo se recomienda restringir el uso de estos productos por los riesgos que implican tanto para las piezas como para los profesionales que los manipulan, su utilización sigue siendo habitual en instituciones y centros vinculados a la conservación arqueológica, tales como excavaciones, centros de investigación y museos. No obstante, diversos estudios han puesto de manifiesto la lixiviación de elementos esenciales en las pastas cerámicas como consecuencia del uso de productos ácidos en sus tratamientos (Hidayat Aprilita et al. 2014; Harrison 2008; Johnson et al. 1995; Olive y Pearson 1975). Mientras que otros estudios han revelado buenos resultados en cuanto a eficacia y seguridad con disoluciones de la sal tetrasódica del EDTA (2 % m/v) combinada con un tensoactivo (Fernández y Seva 2003; Gibson 1971).

Teniendo todo lo anterior en cuenta, se desarrolló una investigación en el marco de la tesis doctoral "Diseño y evaluación de tratamientos tradicionales y novedosos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica" (Sáenz Martínez 2022) para determinar la eficacia y la seguridad de varios tratamientos mixtos. La propuesta incluía dos productos ácidos (ácido acético y ácido nítrico) y un agente quelante (sal tetrasódica del ácido EDTA), aplicados por inmersión, gel físico y geles químicos. Esto permitió evaluar las diferencias entre productos y métodos de aplicación. Además, se siguió una metodología multianalítica para la obtención de datos sobre la composición química, mineralógica y de las propiedades físico-hídricas de las piezas intervenidas, teniendo así una visión amplia de los cambios que pudieran ocurrir. Los tratamientos diseñados fueron puestos a prueba tanto en material cerámico elaborado para la investigación, como en fragmentos arqueológicos procedentes del yacimiento de Guarrazar (Toledo). Basándose en los resultados de dicha investigación, se han formulado una serie de recomendaciones prácticas, recogidas en esta publicación, cuyo propósito es facilitar la implementación de estos tratamientos en casos reales, favoreciendo así la transferencia al ámbito de la CR.

Materiales y metodología

— Metodología de la investigación

La investigación partió de la revisión de la bibliografía especializada, seguida de una primera fase experimental con maquetas de cerámica simulando piezas arqueológicas con depósitos calcáreos y de una segunda fase realizada sobre fragmentos arqueológicos. En ambas se caracterizaron las muestras desde una perspectiva multianalítica, es decir, combinando diferentes técnicas para determinar posibles cambios en la composición química, mineralógica, así como en las propiedades físico-hídricas (color, rugosidad superficial y porosidad abierta) (Sáenz-Martínez 2022).

Con el objetivo de garantizar o facilitar la implementación de los tratamientos diseñados, se establecieron una serie de criterios para optimizar los recursos, disminuir el riesgo de las intervenciones e incrementar la sostenibilidad. Estos criterios incluyeron: mínima concentración del producto, mínimo tiempo de tratamiento, pH constante, mínima intervención de medios mecánicos y sencillez (AENOR 2009a, b, c).

— Preparación de las disoluciones

Las preparaciones se realizaron a partir de los productos comerciales del ácido acético 96 % v/v, del ácido nítrico 65 % v/v y del agente quelante sal tetrasódica del ácido etilendiamintetraacético 4-hidrato (EDTA) puro (PanReac AppliChem). Siguiendo el criterio de mínima concentración, se prepararon las disoluciones de dichos productos a una concentración de 1 % v/v para el ácido acético (pH = 2,5) y el ácido nítrico (pH = 0,5) y de 1 % m/v para el agente quelante (pH = 10,9) en agua desionizada y a temperatura ambiente

(20 - 25 °C), con agitación en el caso del agente quelante. De no poder adquirir agua desionizada, esta podría sustituirse por agua destilada.

— Preparación del gel de goma xantano

El gel de goma xantano se preparó a partir del producto comercializado como Vanzan NF-C® (CTSEspaña S.L.). La preparación también se realizó a temperatura ambiente (20 - 25 °C) y con agitación constante, a medida que se iba añadiendo el producto en polvo a la disolución acuosa a espesar. Para que la mezcla adquiriera una consistencia adecuada para los tratamientos, se recomienda la adición del 2 % m/v, de la goma xantano respecto a la disolución. Tanto las disoluciones no espesadas como las espesadas de cada producto deben presentar un pH similar, por lo que se recomienda comprobar su valor antes de llevar a cabo los tratamientos. Aunque las disoluciones del ácido nítrico y del agente quelante no presentaron variaciones significativas al añadir la goma xantano, en el caso del ácido acético fue necesario aumentar su concentración hasta un 10 % v/v para obtener valores de pH similares en la mezcla espesada.

— Preparación del gel de acción mecánica

El gel de acción mecánica o *peelable* está formado por una red de polivinil alcohol (PVA), agua y plastificantes. Para su elaboración se prepara una dispersión polimérica de PVA 87-89 % hidrolizado en agua desionizada (1:3 m/m) a 90 °C durante 2 horas, en un matraz de tres bocas con un condensador para evitar la evaporación durante el calentamiento. Cuando el polímero se ha solubilizado, se reduce la temperatura hasta 70 °C y se añaden los plastificantes (Guaragnone et al. 2020). Tras 30 minutos se agrega etanol (17 % m/m) y la mezcla final se somete a agitación por ultrasonidos durante 1 hora a 55 °C, hasta obtener una dispersión transparente. La agitación a 150 rpm con una paleta es necesaria para garantizar la correcta homogeneización de la mezcla (Sáenz-Martínez 2022; Parisi et al. 2018).

— Preparación de los geles químicos

Los geles químicos seleccionados en la investigación se comercializan como Nanorestore Gel® (CSGI), concretamente el gel *Medium Water Retention*®, de la categoría *dry*, y el gel *Peggy 5*®. Ambos son geles acuosos, por lo que se adquieren cargados con agua. En el caso de querer utilizar otros productos, será necesario cargarlos por inmersión en dichas disoluciones durante un tiempo determinado, dependiendo del objetivo de la intervención y del material a eliminar.

Recomendaciones

— Consideraciones previas

Antes de afrontar la intervención de cualquier pieza de cerámica arqueológica es necesario tener en cuenta una serie

de aspectos que permitirán que el tratamiento se ajuste lo máximo posible a su estado de conservación. En primer lugar, la consistencia de las pastas va a aportar información acerca de su estado de conservación y también de la temperatura de cocción de las piezas (Buys y Oakley 1993: 84). A partir de un examen organoléptico de los objetos se puede obtener mucha información. Por otro lado, la porosidad de las piezas va a ser una variable relevante a la hora de elegir los productos y el método de aplicación. Una opción accesible es la observación de un corte transversal de la pieza cerámica en microscopía óptica. Si los poros son grandes, será posible apreciarlos a bajos aumentos (entre 8x y 40x) en equipos relativamente sencillos y asequibles. No obstante, si no fuera posible distinguir el tamaño de los poros, lo mejor sería decantarse por la opción menos invasiva respecto al método de aplicación. También será necesario tener en cuenta la presencia de posibles tratamientos superficiales y su estado de conservación, por ejemplo, decoración pintada o vidriada, así como la presencia de huellas de uso o pátinas superficiales.

— Limpieza superficial en seco

En esta fase se pretende eliminar todo el material suelto que se encuentre sobre la superficie de la cerámica, incluyendo: restos de tierra, pequeñas piedras, restos orgánicos (raíces, hojas) y/ o restos de insectos. Se llevará a cabo una limpieza mecánica suave con pinceles, brochas y palitos de madera de naranjo con punta roma. Se evitará y limitará el uso de herramientas más invasivas como escalpelo, bisturí o vibroincisor, ya que el tratamiento químico facilitará su posterior eliminación con herramientas más respetuosas.

— Eliminación de depósitos calcáreos

La eliminación de depósitos calcáreos superficiales se realizará preferentemente mediante un tratamiento mixto, combinando una acción con productos químicos para disminuir la dureza de las concreciones para, posteriormente, eliminarlas de manera mecánica con medios poco invasivos, como palitos de madera de naranjo o herramientas similares.

— Intervención con productos químicos

Aunque hay un gran abanico de productos químicos recomendados y formulados para eliminar depósitos calcáreos, a partir de la investigación realizada se proponen dos tipos por su eficacia y también la simplicidad, al no ser necesario combinar varios. Se recomienda el uso de agentes quelantes y ácidos, de los cuales se priorizarán los agentes quelantes (como las sales del ácido etilendiaminotetraacético, EDTA) ya que la reacción entre los ácidos y el carbonato cálcico de los depósitos genera una efervescencia procedente del dióxido de carbono (CO₂) liberado que puede dañar las capas más superficiales de las cerámicas, especialmente si presentan baja consistencia o temperaturas bajas de cocción o decoración pintada o vidriada. En lo que respecta

a la concentración de los productos, según los resultados obtenidos en la investigación, bajas concentraciones son suficientes para obtener una alta eficacia de limpieza: ej. ácido acético/nítrico 1 % v/v; agente quelante Na₄EDTA 1 % m/v.

— Métodos de aplicación

Se propone el uso de tres métodos de aplicación – inmersión, gel físico y geles químicos – según ciertas características de las piezas a intervenir, tales como la consistencia, el tratamiento superficial que presentan y si tienen o no decoración pintada o pátinas.

• Inmersión

La inmersión de las piezas en diluciones de los productos elegidos se aplicará siempre y cuando presenten alta consistencia, superficie espatulada o bruñida y no tengan decoración superficial pintada ni pátinas o huellas de uso (carbón, restos de alimentos, etc.).

De manera previa a la intervención se llevará a cabo la saturación de poros por inmersión en agua desionizada/destilada para evitar una acción excesiva de la intervención. Si el tamaño de la pieza no permitiera su inmersión completa, la intervención se realizaría por partes, tanto para la saturación de poros como para la posterior inmersión en el producto químico seleccionado. La ratio de la masa de la pieza y el producto químico elegido será de 1:15 mg/mL aproximadamente. Los tiempos de aplicación van a diferir dependiendo del producto elegido, siendo más bajos en el caso de los ácidos [Tabla 1]. Entre cada inmersión (o aplicación, AP), se realizará una prueba de limpieza mecánica con palitos de madera o similar para eliminar la parte del depósito que se haya reblandecido sin peligro de dañar la superficie cerámica. Si la dureza no hubiera disminuido, se repetiría la inmersión tantas veces como fuera necesario. La saturación de los poros se confirma por la ausencia de burbujas de aire en el agua.

Tiempos de aplicación	1ª AP	2ª/ 3ª... AP
Productos ácidos	30' + AM	10' + AM
Productos básicos		30' + AM

Tabla 1.- Tiempos de aplicación (AP) para los tratamientos por inmersión en productos ácidos y básicos. AM: acción mecánica con palitos de madera o herramientas similares.

• Gel de acción mecánica

En cerámicas con alta consistencia y sin aparente decoración ni pátinas, se puede aplicar también un gel de acción mecánica basado en una red de polivinil alcohol (PVA), agua y plastificantes. Este tipo de geles sustituye la limpieza mecánica manual realizada comúnmente con otras herramientas más invasivas (Carrascosa Moliner 2009: 80-

84), evitando así daños derivados de una limpieza excesiva o poco controlada. Aunque no se comercializa, se puede reproducir siguiendo un protocolo descrito en la bibliografía (ver Materiales y metodología). Una vez preparado, se aplica con espátula de manera homogénea sobre los depósitos calcáreos a eliminar en una capa de menos de 5 mm de grosor. A continuación, se espera hasta su secado, entre 1-4 horas en condiciones normales (20 °C). El secado del gel conlleva una ligera contracción que favorece la extracción de los depósitos calcáreos, como si se tratara de un *strappo*. Su eliminación se realizará con una pinza, desde una esquina que permita el agarre de la película generada por el gel y tirando en dirección opuesta. Este gel de acción mecánica solo se aplicará sobre los depósitos calcáreos, ya que si entrara en contacto directo con las superficies cerámicas supondría la pérdida de material original, además de un cambio en su color.

• Gel físico

Si las piezas a intervenir presentan una consistencia media, superficie espatulada o bruñida y decoración pintada cocida, se deberán intervenir con un gel físico. Se recomienda el uso de la goma xantano comercializada como Vanzan NF-C® (CTS España). Su preparación es sencilla, sin necesidad de añadir temperatura a la mezcla, y presenta una alta estabilidad en un amplio rango de pH entre 2 y 12, lo que permite su uso tanto para productos ácidos como básicos. Dada la posibilidad de que tras la aplicación del gel queden residuos en las superficies cerámicas (Stulik 2004), se recomienda el uso de papel japonés (60 g/m²) como material de barrera.

Con el objetivo de favorecer la actuación de los medios químicos, se procederá a la humectación de los depósitos calcáreos de manera previa al tratamiento, permitiendo la adhesión del papel japonés contribuyendo así a la difusión del producto. Se llevará a cabo aplicando agua desionizada/destilada con un pincel sobre las áreas a intervenir, evitando las superficies cerámicas expuestas. El gel ya preparado (ver Materiales y metodología) se aplicará de manera homogénea con una espátula generando una capa de aproximadamente 5 mm de espesor. Preferiblemente, se recubrirán con un plástico *film* o similar para ralentizar la evaporación del producto y el secado del gel [Figura 1]. Los tiempos de aplicación coinciden con los seguidos para la inmersión [Tabla 1]. Igual que en la inmersión, tras cada aplicación se comprobará si el depósito puede ser eliminado por medios mecánicos sin ejercer apenas presión (palitos de madera). De no ser así, se repetirá el tratamiento tantas veces como fuera necesario. En el caso de que la intervención mecánica sea heterogénea, dejando las superficies cerámicas parcialmente expuestas, las sucesivas aplicaciones del gel se limitarán a los depósitos calcáreos remanentes.

Al finalizar cada aplicación, se retirará el plástico *film* con pinzas y, a continuación, el papel japonés, que se llevará consigo el gel. Si incluso con la aplicación del papel japonés como elemento de barrera se identifican restos de los geles, se pueden eliminar mecánicamente con un hisopo ligeramente humedecido con agua desionizada/destilada.

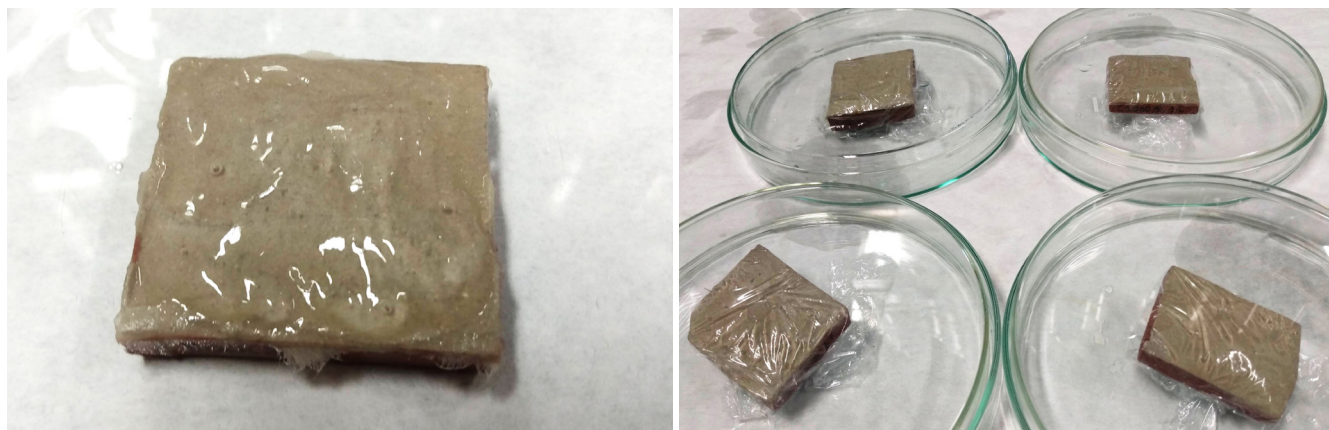


Figura 1.- Gel de goma xantano aplicado sobre depósitos calcáreos en maquetas cerámicas.

• Geles químicos

En el caso de afrontar la intervención de piezas cerámicas con baja consistencia, sin tratamiento superficial y con decoración pintada sin cocer y huellas de uso o pátinas, es decir, actuaciones comprometidas, se recomienda el uso de geles químicos comercializados como *Nanorestore Gel*® (CSGI), concretamente el gel *Medium Water Retention*® para superficies más sensibles a tratamientos acuosos, y el gel *Peggy 5*® para superficies menos sensibles, ambos en formato de lámina. Aunque debido a su coste, su uso se limitaría principalmente a intervenciones puntuales, la posibilidad de utilizar el reverso de los geles después de una aplicación permite ampliar su aplicabilidad a mayores superficies.

Ambas formulaciones deberán ser previamente cargadas con los productos seleccionados (ver Materiales y metodología). A continuación, se cortarán siguiendo las formas de los depósitos a eliminar y se colocarán con unas pinzas evitando que entren en contacto directo con las superficies cerámicas. Igual que en el caso de los geles físicos, los geles químicos también se recomienda recubrirlos con un plástico *film* o similar para ralentizar la evaporación del producto y el secado del gel, ya de por sí controlada. Los tiempos de carga y aplicación van a depender del número de la aplicación, siendo más prolongadas en las primeras, ya que conforme se elimina material de los depósitos calcáreos, aumenta la exposición de las superficies cerámicas a los productos químicos elegidos [Tabla 2]. Tras cada aplicación se comprobará la acción del tratamiento mecánicamente hasta que la dureza de los depósitos calcáreos haya disminuido permitiendo su eliminación sin ejercer apenas presión.

	1ª AP Carga 120'	2ª AP Carga 60'	3ª AP Carga 60'	[4ª AP Carga 60']
Productos ácidos	60'+AM+V+60'+AM	60'+V+60'	[60'+V+60']	[60'+V+60']
Productos básicos	60'+AM+V+120'+AM	60'+V+60'	60'+V+60'	[60'+V+60']

Tabla 2.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para los tratamientos con geles químicos. AM: acción mecánica con palitos de madera o herramientas similares. V: aplicación del reverso. [...]: solo si se considera necesario

Eliminación de veladuras calcáreas

Una vez retiradas las capas más superficiales de los depósitos calcáreos es común afrontar la eliminación de veladuras calcáreas residuales que, de ser intervenidas mecánicamente, podría ponerse en riesgo la conservación de las superficies cerámicas. Para estos casos, se han adaptado algunas de las intervenciones previamente comentadas para la eliminación de los depósitos, dado que la acción debe ser más respetuosa con las superficies. Estos tratamientos incluyen el uso del gel químico *Peggy 5*® en formato lámina, lápiz y goma. La aplicación en formato lámina se realizará igual que en el caso de los depósitos calcáreos, pero con tiempos de carga y aplicación más bajos [Tabla 3].

Tiempos de carga y aplicación	<i>Peggy 5</i> ® 1ª AP Carga 30'
Ácido acético	30' + V + 15'

Tabla 3.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para la eliminación de veladuras calcáreas con el gel químico *Peggy 5*® cargado con ácido acético. V: aplicación del reverso.

Los formatos lápiz (L) y goma (G) del gel *Peggy 5*® permiten realizar una acción más puntual y, por lo tanto, más controlada de la eliminación de veladuras. Igual que con el formato tipo lámina, es necesario cargarlos con los productos químicos seleccionados previamente a su aplicación. Esta difiere de las anteriores en que su acción radica en arrastrar tanto el lápiz como la goma repetidamente sobre las veladuras, de manera similar a una goma de borrar [Tabla 4].

Tiempos de carga y aplicación	<i>Peggy 5</i> ® L/G 1ª AP Carga 120'	<i>Peggy 5</i> ® L/G 2ª AP Carga 60'
Ácido acético	20 repeticiones	10 repeticiones
Sal tetrasódica del ácido EDTA		

Tabla 4.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para la eliminación de veladuras calcáreas con el gel químico *Peggy 5*® cargado con ácido acético. L: Gel *Peggy 5*® en formato lápiz. G: Gel *Peggy 5*® en formato goma.

Eliminación de sales solubles y otros residuos

Como producto de las reacciones químicas ocurridas entre las disoluciones utilizadas y el carbonato de calcio contenido en los depósitos calcáreos, aparecen distintas sales que pueden degradar a largo plazo las cerámicas, según su porosidad. Estas sales incluyen el acetato de calcio (procedente de la reacción con el ácido acético), el nitrato de calcio (resultado de la reacción con el ácido nítrico) y el carbonato de sodio (procedente de la sal tetrasódica del ácido EDTA). Con el objetivo de limitar sus posibles efectos a corto, medio y largo plazo es necesario llevar a cabo su eliminación. El tratamiento dependerá del método de aplicación utilizado para la eliminación de los depósitos calcáreos. De este modo, tras una intervención por inmersión, las sales solubles se eliminarán también por inmersión, mientras que tras un tratamiento aplicado por métodos indirectos (gel físico o geles químicos) dicha eliminación se realizará con el gel químico *Peggy 5*[®].

La ratio del volumen de agua desionizada/destilada será de aproximadamente de 1:15 mg/mL (Unruh 2001). El seguimiento del proceso por inmersión deberá incluir medidas de la conductividad (K) con un conductímetro de mano, con una precisión de 0,1 μS . Se tomarán datos del agua utilizada para la eliminación de los residuos tras haber transcurrido 0, 5, 15, 30, 60, 120, 180 minutos (+ 60' + 60' etc.) desde la introducción de las piezas intervenidas. Para determinar el final del tratamiento, se utilizará la variable K_{norm} (Unruh 2001; White *et al.* 2010), que tiene en cuenta la variación en la conductividad respecto al volumen del agua utilizado, al tiempo y a la masa de la pieza [ecuación 1] [Tabla 5]. En el caso de la inmersión, las medidas se harán directamente en el agua utilizada, tras haber extraído la pieza antes de realizar cada medida, volviendo a introducirla para continuar con el procedimiento. Mientras que en el caso del gel *Peggy 5*[®], las medidas se tomarán de manera indirecta, es decir, se colocará el gel sobre la superficie cerámica y una vez transcurrido el tiempo previamente establecido, se retirará y se introducirá en el volumen de agua desionizada/destilada según la ratio 1:15 mg/mL (masa de la pieza/ volumen de agua). Se esperará un par de minutos para medir la conductividad comprobando que el valor sea estable. Las siguientes medidas se realizarán en la misma agua, en línea con la metodología seguida con las piezas intervenidas por inmersión. Este tratamiento finalizará cuando el valor de K_{norm} sea igual o menor que 2 (White *et al.* 2010). Si se considera necesario, se podrá repetir el procedimiento siguiendo los mismos pasos tras renovar el volumen de agua desionizada/destilada. Dado que los geles ya se comercializan cargados con agua, no sería necesario realizar otra carga, aunque se podría hacer mediante una inmersión de 30 minutos en agua desionizada/destilada. Una vez terminado el tratamiento de desalación, estos geles no se podrán reutilizar. Además, una vez iniciado el tratamiento se recomienda finalizarlo ya que, si no se extraen todas las sales solubles de las piezas intervenidas y estas se dejan secar, seguramente se produzcan eflorescencias que podrían dañar las piezas.

$$K_{\text{norm}} = (\Delta K \times L) / (\Delta t \times g)$$

Ecuación 1.- Fórmula de la variable K_{norm} utilizada para establecer el punto final del proceso de eliminación de residuos tras los

tratamientos de limpieza. Donde K es la conductividad (μS); L el volumen del agua utilizada en litros; t es el tiempo transcurrido desde el inicio del proceso en días; y g la masa de la pieza en gramos. La variación Δ de K y t se calcula mediante la diferencia del valor final y el valor inicial.

	Peso de la cerámica (g)	Volumen de agua (L)	Conductividad K (μS)	ΔK (μS)	Tiempo t (min)	Δt (min)	Δt (días)	K_{norm}
1	36,00	0,50	1,1	1,1	0	0	0,000000	0,00
2	36,00	0,50	3,5	2,4	5	5	0,003472	9,60
3	36,00	0,50	4,8	1,3	15	10	0,006944	2,60
4	36,00	0,50	7,2	2,4	30	15	0,010417	3,20
5	36,00	0,50	8,5	1,3	60	30	0,020833	0,87

Tabla 5.- Ejemplo de un tratamiento de eliminación de sales a partir de 5 medidas de la conductividad y el cálculo de la variable K_{norm} . La variación (Δ) de K y t se calcula mediante la diferencia del valor final y el valor inicial: $\Delta K (\mu\text{S}) = K (\mu\text{S})_2 - K (\mu\text{S})_1$; $\Delta t (\text{min}) = t (\text{min})_2 - t (\text{min})_1$. La variación del tiempo en días se realiza a partir de la $\Delta t (\text{min})$: $\Delta t (\text{días}) = \Delta t (\text{min}) / 1440$.

Conservación preventiva y seguimiento de los tratamientos

La conservación de las cerámicas arqueológicas intervenidas va más allá de los tratamientos, ya que las condiciones ambientales son clave para su preservación a medio y largo plazo. En general, es crucial que las variables de humedad relativa, temperatura y radiación sean estables y adecuadas [Tabla 6], con mínimas variaciones, ya que un estrés constante y mantenido en el tiempo puede suponer la aparición de eflorescencias salinas, así como grietas en piezas con un estado de conservación comprometido (Michalski 2009b).

Además de unas condiciones ambientales adecuadas y estables, es crucial realizar un seguimiento de posibles cambios superficiales en las cerámicas intervenidas, tales como manchas, velos blanquecinos de eflorescencias salinas, cambios en la consistencia de las pastas, aparición de grietas, etc. Una herramienta interesante para realizar dicho seguimiento podría ser la colorimetría, gracias a que la toma de medidas es sencilla, así como la interpretación de los datos. Al finalizar la intervención se podría llevar a cabo un análisis del color y repetir el procedimiento cada cierto tiempo o cuando a simple vista se observen cambios significativos, para corroborarlos.

	Piezas intervenidas	Piezas con sales solubles	Piezas estables/poco sensibles
Humedad relativa, HR (%)	30 – 45	20 – 40	30 – 60
Luz visible (lux)	50 – 150	50 – 150	300
Luz ultravioleta (μW /lumen)	70	70	70
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	20 – 25	20 – 25	20 – 25

Tabla 6.- Condiciones ambientales recomendadas para la conservación de cerámica (Berducou 1990; Carrascosa Moliner 2009; 215; Michalski 2009a y 2009b).

Conclusiones

A partir de un proyecto de investigación basado en una metodología científica fundamentada en una perspectiva multianalítica, se han desarrollado una serie de recomendaciones para eliminar depósitos calcáreos de cerámicas arqueológicas. Para su desarrollo se ha tenido en cuenta la dificultad de su preparación, la cantidad de productos necesarios y su concentración, tendiendo en todos los casos a simplificar dichas variables. También se ha tenido en cuenta el coste y la infraestructura necesaria. A pesar de su demostrada eficacia, dichas recomendaciones deberán probarse en el material a intervenir antes de ser aplicadas de manera sistemática, igual que cualquier otro tratamiento de conservación. Asimismo, es posible que sea necesario realizar adaptaciones de las mismas, ya que cada caso de estudio e intervención es único. Aun así, las recomendaciones previamente desarrolladas suponen una mejora respecto a los tratamientos aconsejados en la bibliografía, dada la gran variabilidad detectada.

Agradecimientos

La autora agradece el apoyo del programa de investigación Top-Heritage-CM (S2018/NMT-4372), de las plataformas temáticas interdisciplinares PTI-PAIS (CSIC) y del *Center for Colloid and Surface Science* (CSGI), de la Universidad de Florencia. También da las gracias a los Centros de Apoyo a la Investigación de Técnicas Geológicas (UCM), Difracción de Rayos X (UCM), Fluorescencia de Rayos X (UCM y UGR), a la Fundación Palarq (PR2004_19/02) y a los grupos de investigación Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio cultural (UCM-930420) y Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio (UCM-921349). Agradece también a la Universidad Complutense de Madrid y el Banco Santander por su contrato predoctoral (CT17/17-CT18/17), así como al Ministerio de Ciencia e Innovación por la beca para estudiantes de postgrado en La Residencia de Estudiantes (2020-2021). Asimismo, agradece la supervisión de las Dras. Margarita San Andrés, Mónica Álvarez de Buergo y Marta Pérez Estébanez.

Referencias

- AENOR. (2009a). UNE 41806-1 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza.
- AENOR. (2009b). UNE 41806-5-1 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución.
- AENOR. (2009c). UNE 41806-5-2 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos.
- BERDUCOU, M.C. (1990). *La Conservation en archéologie: méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*. Masson, Paris.
- BUYS, S., OAKLEY, V. (1993). *The conservation and restoration of ceramics*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- CAPLE, C. (2000). *Conservation skills: judgement, method and decision making*. Routledge, London; New York.
- CARRASCOSA MOLINER, B. (2009). *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Tecnos, España.
- CASALETTO, M.P., INGO, G.M., RICCUCCI, C. et al. (2008). "Chemical cleaning of encrustations on archaeological ceramic artefacts found in different Italian sites". *Applied Physics A*, 92: 35–42. <https://doi.org/10.1007/s00339-008-4519-x>
- COLADONATO, M., DI ODOARDO, B., PRUNAS, E. (2013). "Removal of Calcareous Concretions from Natural and Manufactured Stone Archaeological Artefacts through the Use of CO₂ Water Solutions". *Procedia Chem* 8: 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2013.03.009>
- FERNÁNDEZ, C., SEVA, R. (2003). "Avance al análisis de un modelo de limpieza a base de álcalis para la cerámica arqueológica". *Sautuola: Revista del Instituto de Prehistoria y Arqueología*, 9: 471–482.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (2003). "Las sales y su incidencia en la conservación de la cerámica arqueológica". *Monte Buciero*, 9: 303–325.
- GIBSON, B.M. (1971). "Methods of Removing White and Black Deposits from Ancient Pottery". *Studies in Conservation* 16: 18:23 <https://doi.org/10.2307/1505515>
- GUARAGNONE, T., CASINI, A., CHELAZZI, D., & GIORGI, R. (2020). "PVA-based peelable films loaded with tetraethylenepentamine for the removal of corrosion products from bronze". *Applied Materials Today*, 19, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100549>
- HARRISON, A. (2008). "Effects of Acid Treatment on Ceramics from Kaman-Kalehöyük". *Anatolian Archaeological Studies* 18: 271–280.
- HIDAYAT APRILITA, N., TRI WAHYUNI, E., MAHIRTA, et al. (2014). "Assessment of Chemical Dissolution Method for Conservation of Underwater Archaeological Ceramics". *American Journal of Applied Chemistry* 2 (5). <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20140205.14>
- JOHNSON, J. S., ERICKSON, H.M., ICELAND, H. (1995). "Identification of Chemical and Physical Change During acid Cleaning of Ceramics". *MRS Proceedings* 352: 831–837. <https://doi.org/10.1557/PROC-352-831>
- MICHALSKI, S. (2009a). Luz visible, radiación ultravioleta e infrarroja. Roma: Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM). <https://www.cncr.gob.cl/noticias/agentes-de-deterioro-instituto-canadiense-de-conservacion-icc>. [consulta: 15/09/2025].

MICHALSKI, S. (2009b). *Temperatura incorrecta*. Roma: Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM) <https://www.cncr.gob.cl/noticias/agentes-de-deterioro-instituto-canadiense-de-conservacion-icc>. [consulta: 15/09/2025].

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (2007). *Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales*. BOE núm. 260, de 30 de octubre de 2007, Madrid.

MORA, P., MORA, L., PHILIPPOT, P. (1984). *Conservation of wall paintings*. Butterworths, London.

OLIVE, J., PEARSON, C. (1975). "The conservation of ceramics from marine archaeological sources". *Studies in Conservation* 20: 63–68. <https://doi.org/10.1179/sic.1975.s1.011>

OSCA PONS, J. (2003). "Restauración de la decoración pictórica exterior de la Iglesia de San Roque en Oliva (Valencia)". *Restauración & Rehabilitación*, 75: 46–51.

PARISI, E. I., BONELLI, N., CARRETTI, E., GIORGI, R., INGO, G. M., & BAGLIONI, P. (2018). "Film forming PVA-based cleaning systems for the removal of corrosion products from historical bronzes". *Pure and Applied Chemistry*, 90(3): 507-522. <https://doi.org/10.1515/pac-2017-0204>

QUIROSA GARCÍA, V., GÓMEZ ROBLES, L. (2010). "El papel de la mujer en la conservación y transmisión del patrimonio cultural". *ASPARKÍA*, 21: 75–90.

SÁENZ MARTÍNEZ, Á., (2022). *Diseño y evaluación de tratamientos tradicionales y novedosos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/4105>

SÁENZ MARTÍNEZ, Á., COLLADO MONTERO, F.J., CAPEL MARTÍNEZ, J. (2024). "Preliminary studies for the removal of carbonate deposits from painted ceramics using chemical solutions". *Conservar Património* 46: 7–21. <https://doi.org/10.14568/cp26050>

SÁENZ-MARTÍNEZ, Á., PÉREZ-ESTÉBANEZ, M., SAN ANDRÉS, M., et al. (2021). "Efficacy of acid treatments used in archaeological ceramics for the removal of calcareous deposits". *The European Physical Journal Plus* 136: 798. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01784-3>

STULIK, D., & DORGE, V. (2004). *Solvent gels for the cleaning of works of art: the residue question*. Getty Conservation Institute.

UNRUH, J. (2001). "A Revised Endpoint for Ceramics Desalination at the Archaeological Site of Gordion". *Studies in Conservation*, 46(2): 81-92. <https://doi.org/10.2307/1506839>

WHITE, C., POOL, M., & CARROLL, N. (2010). "Short Communication: A Revised Method to Calculate Desalination Rates and Improve Data Resolution". *Journal of the American Institute for Conservation*, 49(1): 45-52. <https://doi.org/10.1179/019713610804500564>

Autor/es



Águeda Sáenz Martínez

agueda.saenz@unizar.es

Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), CSIC-Universidad de Zaragoza

<https://orcid.org/0000-0002-5929-7393>

Águeda Sáenz Martínez es Doctora en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid (2022), con Mención Internacional y Premio Extraordinario. Se formó en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural (UCM, 2016) y Arqueología (Universidad de Granada, 2017). Desarrolló su tesis doctoral gracias a un contrato FPU de la UCM (2018-2022), periodo que incluyó una estancia en el Center for Colloid and Surface Science de la Universidad de Florencia (2021), y una beca del Ministerio de Ciencia e Innovación para estudiantes de postgrado en La Residencia de Estudiantes (2020-2021). Ha sido Profesora Ayudante Doctora en la Universidad de La Rioja (UR, 2023-2024) y en la actualidad continúa su trayectoria como investigadora posdoctoral en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA, 2024), dentro del grupo Bionanosurf, aunque mantiene su colaboración con el grupo Técnicas de documentación, conservación y restauración del patrimonio (UCM-930420). Su línea de investigación se centra en la evaluación de tratamientos de conservación mediante técnicas y metodología científicas. Ha participado en varios proyectos de investigación (2D-Hericare, TopHeritage, Geomateriales 2) y, recientemente, consiguió el primer premio en el concurso Materializa de la Cátedra SAMCA (2024) para el desarrollo del proyecto "GrafCoM – Sensor de Grafeno para el Control de la proliferación de Mohos en patrimonio cultural". También cuenta con una amplia y asidua participación en congresos y conferencias internacionales y nacionales, así como con publicaciones científicas en revistas como *Journal of Cultural Heritage*, *Conservar Património*, *European Physical Journal Plus* o *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. Entre 2026 y 2028 llevará a cabo el proyecto CoNFine – *Conservation of built heritage: Natural Formulations against bio-deterioration*, financiado por el programa MSCA Postdoctoral Global Fellowships (2024) en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA) y la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM).



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1439>