

Utilización de ácido cítrico y EDTA en la limpieza de estructuras pictóricas

José Manuel Barros García | Sheila Llano Torre

Marina Rodríguez Serrano

Resumen

El ácido cítrico y el EDTA son dos agentes quelantes que se están convirtiendo en herramientas indispensables en la limpieza de estructuras pictóricas. Sin duda, permiten solucionar problemas muy complejos aunque también plantean dudas acerca de los posibles efectos negativos en la pintura original. En comparación con los disolventes orgánicos, existe todavía poca información acerca de qué protocolos se pueden seguir para diseñar sistemas de limpieza con los agentes quelantes.

Palabras clave

Limpieza, EDTA, ácido cítrico, pintura, quelante.

Uso de ácido cítrico e EDTA na limpeza de estruturas pictóricas

Resumo

O ácido cítrico e o EDTA são dois agentes químicos que paulatinamente se convertem em ferramentas indispensáveis na limpeza de estruturas pictóricas. Indubitavelmente, permitem resolver problemas complexos de limpeza, se bem que deixam dúvidas sobre possíveis efeitos negativos na pintura original. Em comparação com os solventes orgânicos, existe ainda pouca informação sobre que protocolos se poderão ter em conta para elaborar sistemas de limpeza com agentes quelantes.

Palavras-chave

Limpieza, EDTA, ácido cítrico, pintura, quelante

Citric Acid and EDTA use in the cleaning of pictorial structures

Abstract

Citric Acid and EDTA are two chemical agents which are becoming indispensable tools in the cleaning of pictorial structures. Undoubtedly, they allow professionals to solve very complex problems while raising doubts as to the possible negative effects on the original painting. In comparison with organic solvents, there still exists little information about the protocols to be followed in designing cleaning systems with chelating agents.

Keywords

Cleaning, EDTA, Citric Acid, painting, chelating agents.

Introducción

Los agentes quelantes han pasado a ser en las dos últimas décadas una herramienta de enorme interés en la limpieza de estructuras pictóricas (Barros García, 2005:119). Eran agentes químicos habituales en el tratamiento de materiales inorgánicos como metales, piedra o cerámica, pero poco a poco se ha podido comprobar que también podían ser utilizados en la limpieza del patrimonio pictórico para resolver problemas muy complejos, para los que las soluciones tradicionales consistían en el empleo de disolventes o reactivos muy tóxicos. En un principio, se aplicaron quelantes en la limpieza de pinturas murales pero su uso se ha extendido a la pintura sobre lienzo o tabla para la eliminación de capas de suciedad.

El término quelación proviene del término griego *chele* o *khele* que significa *pinza*. Describe la habilidad de ciertos agentes químicos de capturar iones metálicos para formar complejos solubles en agua (Myers, 2007:124). Los agentes quelantes o secuestrantes se caracterizan por estar constituidos por moléculas polidentadas, lo que significa que pueden formar más de un enlace con un ion metálico. El complejo formado se denomina quelato (Doménech Carbó y Yusá Marco, 2006: 99).

Aunque existen muchos quelantes, los únicos que parecen tener por ahora cierta aplicación en la limpieza de estructuras pictóricas son el ácido cítrico, el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y algunas de sus respectivas sales. Su utilización está muy vinculada a la eliminación de suciedad, aunque también pueden emplearse en la extracción de otros tipos de estratos.

Ácido cítrico

El ácido cítrico es un ácido orgánico que está presente en una amplia variedad de frutas. Su fórmula es $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ y su masa molecular $192,12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (American Chemical Society, 1996). Originalmente el ácido cítrico se ha utilizado, en restauración, en la limpieza de material inorgánico como piezas cerámicas o metales. También se ha empleado para eliminar eflorescencias salinas en pintura al fresco.

En la limpieza de pinturas se pueden emplear los citratos, sales obtenidas al reaccionar el ácido cítrico con una base y que se caracterizan por tener una mayor capacidad quelante. Los citratos más comunes en restauración de pinturas son los de amonio y de trietanolamina. El citrato de triamonio ha sido, posiblemente, el agente quelante más analizado en relación con la extracción de capas de suciedad en pinturas sobre lienzo o tabla.

En 1990 (Carlyle, Townsend y Hackney) se publica un estudio que señala que este quelante, utilizado a un pH 7, y a una concentración del 2,5%, es eficaz y seguro en la eliminación de capas de suciedad. Posteriormente, Phenix y Burnstock (1992:32) llegan a la conclusión que al realizar una limpieza con disoluciones del 1-2% de citrato de triamonio en agua, se pueden eliminar depósitos de suciedad presentes sobre una capa de barniz sin dañar esta última. Estas publicaciones animaron a muchos restauradores a aplicarlo en el tratamiento de pinturas, en sustitución de otros agentes químicos como el hidróxido de amonio o el Vulpex® (un tensoactivo aniónico muy utilizado en la década de los 90 en la limpieza de pinturas).

Ya en la siguiente década, Burnstock y van der Berg (2005) publican los resultados de un nuevo estudio acerca de los efectos del citrato de amonio en las superficies policromadas. Las conclusiones a las que llegan son similares a los estudios anteriores en cuanto a la efectividad para la eliminación de suciedad a una concentración de 2,5% en agua. Sin embargo, se señalan también los riesgos que presenta su uso a concentraciones mucho mayores.

En el año 2007 (Morrison), un grupo de investigadores presenta un notable trabajo en el que se pretende dar unos primeros pasos para determinar los parámetros más adecuados en el uso del citrato de triamonio. Las conclusiones obtenidas indican que este agente quelante es capaz de eliminar depósitos orgánicos, compuestos por ácidos grasos y jabones de zinc y plomo, en comparación con las disoluciones de hidróxido de amonio que no son tan efectivas, incluso a un mayor pH de estas últimas.

Todos estos trabajos han demostrado la utilidad de los citratos en proyectos de limpieza tanto en pinturas barnizadas como no barnizadas (aunque se deben tomar mayores precauciones en el caso de estas últimas). Sin embargo, esta utilidad puede ampliarse si son combinados con otros agentes químicos como, por ejemplo, tensoactivos. En la actualidad las combinaciones agua-ácido cítrico-base-tensoactivo permiten diseñar soluciones muy efectivas en la extracción de capas de suciedad, ajustando factores como, por ejemplo, el pH, la concentración iónica o el tipo de tensoactivo (Wolbers, 2000:52-53; Cremonesi, 2004; Bracco y Ciappi, 2004).

Cremonesi (2000:115-118) ha sugerido interesantes usos para el ácido cítrico como, por ejemplo, utilizado con disolventes en sustitución de los ácidos acético y fórmico para la eliminación de estratos proteicos. Otra interesante posibilidad para la extracción de este tipo de materiales es utilizar geles acuosos con Carbopol®, trietanolamina (TEA) y ácido cítrico (Cremonesi, 2004:79).

En un estudio realizado en 2008 (Llano Torre) sobre el uso de ácido cítrico salificado con trietanolamina, hidróxido de amonio y Tris base, las principales conclusiones avalan las investigaciones anteriores: en la mayoría de las pruebas realizadas, a mayor pH y mayor concentración del agente quelante se observa un incremento sustancial de la eficacia en la eliminación de los depósitos (fig. 1). Al añadir un tensoactivo (Tween® 20) al sistema agua-quelante-base, se observa también, en la mayoría de los casos, un incremento en la

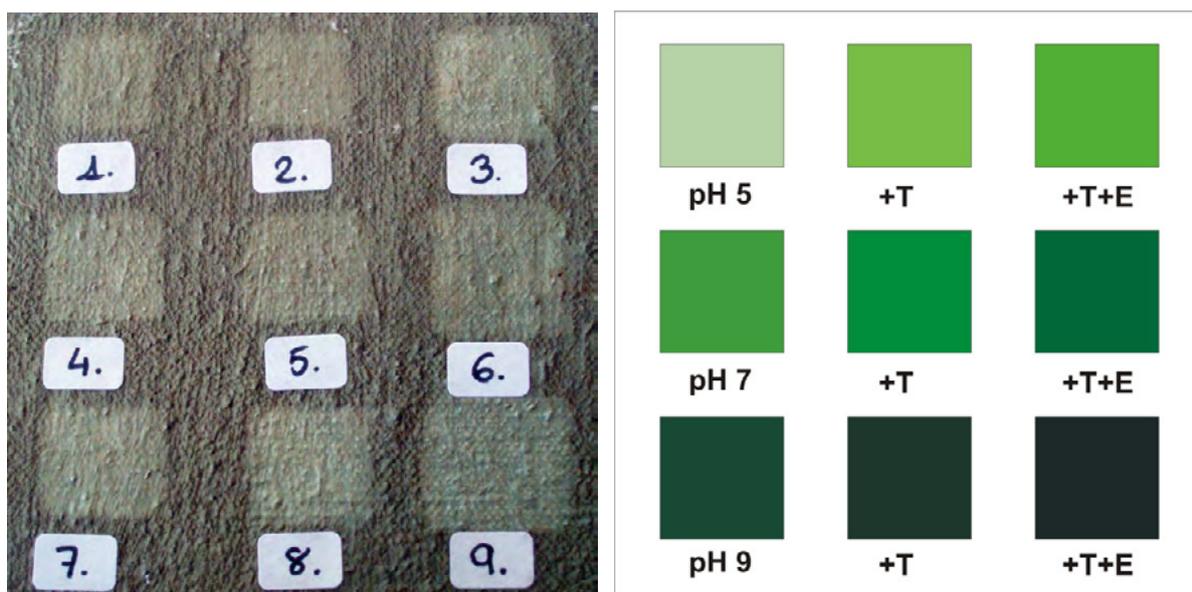
Utilización de ácido cítrico y EDTA en la limpieza de estructuras pictóricas

José Manuel Barros García | Sheila Llano Torre | Marina Rodríguez Serrano

efectividad del proceso de limpieza. Si, además, se añade un éter de celulosa como espesante (Tylose® MH 300P), por lo general se produce un nuevo incremento en la extracción de depósitos. En todas las pruebas este comportamiento se produce con independencia de la concentración del ácido cítrico y de la base escogida (Anexo 1.1-1.3) (fig. 2). Es importante recordar que el éter de celulosa, además de su función como espesante, también disminuye la tensión superficial y mejora la humectación, comportándose así como un tensoactivo (Cremonesi, 2000:47).



Figuras 1a y 1b - Influencia de la concentración: ácido cítrico (salificado con TEA) a una concentración de 0,5g/50ml de agua destilada (a) y de 2g/50 ml (b). En ambos casos el pH es 7



Figuras 2a y 2b - Influencia del pH, tensoactivo (T: 0,5ml de Tween® 20) y espesante (E: 2,5g de Tylose® MH 300P) en la efectividad del ácido cítrico (0,5g/50ml de agua destilada) salificado con TEA

EDTA

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) o ácido edético obedece a la fórmula $(\text{HO}_2\text{CCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ y su masa molecular es de $292,24 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Es un agente químico que puede incluirse también dentro de los denominados quelantes, al poder formar complejos metálicos solubles. En la actualidad tiene un amplio uso en la industria y en la medicina (Aguilar Sanjuán, 1999:390-391; Myers, 2007:124-126). En el campo de la restauración de bienes culturales se ha utilizado en la limpieza de todo tipo de materiales, cerámicos y pétreos entre otros, y también en pintura mural.

Dos de las sales del EDTA más habituales en tratamientos de restauración son la sal disódica (EDTA- Na_2) y la tetrasódica (EDTA- Na_4). La sal disódica presenta en disolución un pH ácido (pH 4,3-4,7 en una disolución del 5%), mientras que la tetrasódica presenta un pH básico (pH 11 en una disolución del 5%). Estas sales son agentes quelantes muy efectivos para un gran número de iones (Jourdain-Treluyer, 1991; Moncrieff y Weaver, 1992: 122-123; Phenix y Brunstock, 1992).

A lo largo de los últimos 20 años se han publicado diversos trabajos que demuestran la posibilidad de utilizar este quelante, aunque en general su uso en pintura de caballete ha sido muy poco estudiado en comparación con los citratos. En 1990 Slavin publica un artículo en el que se muestra el empleo de sal disódica de EDTA y otros agentes químicos para la eliminación de depósitos de suciedad y sales de unas pinturas decorativas al óleo sobre papel. Vedovello (1993:106) menciona también el uso del EDTA en la limpieza de pintura de caballete del Museo Correr de Venecia, para la eliminación de estratos grises de difícil solubilidad, compuestos probablemente por clara de huevo y un aceite secante, aunque no aporta detalles sobre la forma de utilizarlo. Otros investigadores, entre ellos Wolbers (2000) y Cremonesi (2004), también han destacado las posibilidades que puede tener en la limpieza de estructuras pictóricas.

Al estudiar el comportamiento del EDTA salificado con TEA, hidróxido de amonio y Tris base, se puede comprobar que, de forma muy similar a lo que sucede con los citratos, un incremento en el pH y/o la concentración del agente quelante suele mejorar la eficacia del sistema (Rodríguez Serrano, 2008). También es posible determinar que la adición de un tensoactivo no iónico como el Tween® 20 incrementa la capacidad de extracción de material, al igual que el empleo de un espesante (Tylose® MH 300P). Así como en las pruebas realizadas con ácido cítrico (Llano Torres, 2008) se observa una mayor efectividad al emplear hidróxido de amonio, en las pruebas con EDTA se observa, en muchos casos, este mismo resultado cuando ha sido escogida la TEA. Al utilizar Tris base se observa una menor efectividad, resultado similar al obtenido con ácido cítrico. De todas formas, los resultados no pueden considerarse concluyentes y sería conveniente un estudio que determine con mayor precisión la importancia de la base utilizada en la salificación (Anexo 1.4-1.6) (Rodríguez Serrano, 2008).

Al recurrir aquí a la expresión "mayor efectividad/eficacia", no se pretende decir que

el sistema de limpieza más efectivo sea el más adecuado. Simplemente señala que los agentes químicos extraen con mayor rapidez y de manera más uniforme el estrato que se desea eliminar, aunque pueda producir efectos indeseables en los estratos inferiores (residuos, abrasión, etc.). Por lo tanto, al diseñar la estrategia óptima para un proceso concreto hay que buscar un equilibrio entre eficacia, seguridad y control. Es decir, el sistema deberá ser, por supuesto, "eficaz" pero también deberá ser lo más seguro posible para la conservación de los estratos inferiores que deseemos conservar y fácil de controlar (lo que implica que no es conveniente que sea demasiado "rápido"). Por todo ello, es importante que el restaurador comprenda los parámetros que afectarán a la capacidad de extracción del depósito y que también serán determinantes en la seguridad del proceso. Así, en las pruebas realizadas con diversas sales de EDTA, se ha podido comprobar la mayor efectividad de aquellas preparadas a un pH 9 o superior, aunque también que pueden causar daños visibles (erosión y pérdida de pigmentos) en la estructura pictórica.

En cuanto a la toxicidad, el EDTA y sus sales sódicas no están considerados como agentes químicos que puedan presentar graves riesgos para la salud. De todas formas no existe mucha información acerca de esta cuestión, por lo que hay que tomar las debidas precauciones, como evitar el contacto con la piel y los ojos y utilizar protección respiratoria cuando se manipula el polvo. Similares precauciones deben ser tomadas con respecto al ácido cítrico, aunque dado que puede provocar graves lesiones oculares, se debe tener un especial cuidado al manipularlo (Sigma-Aldrich, 2010a, 2010b).

Riesgos en el uso de los agentes quelantes

En general, los estudios realizados sobre el uso de quelantes en la limpieza de pintura sobre lienzo o tabla se han centrado en los procesos de extracción de suciedad. Cuando no se obtienen resultados positivos con el agua y los tensoactivos, se puede recurrir a estos agentes químicos, tal como se puede comprobar en la figura 3. En muchos casos, permiten una completa extracción de la suciedad presente sobre un estrato de barniz sin producir ningún daño, de forma que éste puede ser conservado. Durante las últimas décadas el citrato de triamonio ha sido muy utilizado en este tipo de operaciones.

Además de la eliminación de estratos de suciedad, los quelantes pueden emplearse también en otros procesos de limpieza. Por ejemplo, para la extracción de estratos proteicos o grasos para los que tradicionalmente se habrían utilizado agentes químicos muy tóxicos. Una posibilidad, ya mencionada más arriba, es la preparación de geles con ácido cítrico y Carbopol® (1g de ácido cítrico, 50ml de agua destilada, 1,5g de Carbopol® 934 y 5ml de TEA) (fig. 4). También se puede utilizar una disolución de EDTA-Na₄ para extraer espesos repintes o estucos grasos cuando estos estratos no son solubles con la acción de otros agentes químicos como disolventes o geles de disolventes. Sin embargo, esta capacidad como "decapante" sólo debe ser aprovechada en ocasiones excepcionales (fig. 5).

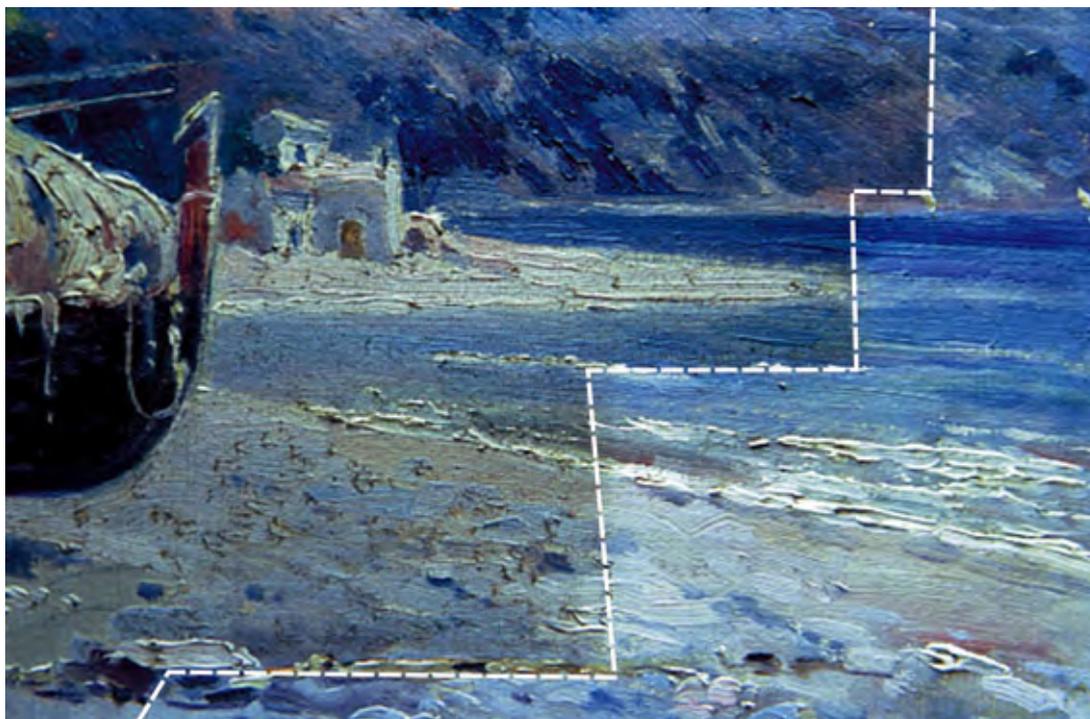


Figura 3 - Limpieza con citrato de TEA



Figuras 4a y 4b - Ejemplos de utilización de un gel de ácido cítrico con Carbopol®

Se ha observado que el uso de EDTA- Na_4 puede producir una visible extracción de pigmentos de una estructura pictórica a una concentración de 0,5g/50 ml de agua. A una concentración de 2g/50ml, la limpieza es muy agresiva y se pueden producir graves daños en estructuras pictóricas antiguas, en especial en las zonas pigmentadas con tierras (Anexo 1.7). Daños similares también se producen con EDTA salificado con TEA o con hidróxido de amonio a la concentración de 0,5g/50 ml, a un pH entre 7 y 9. Al aumentar la concentración de EDTA a 2g/50ml se producen daños incluso a un pH más bajo (Rodríguez Serrano, 2008). También hay que señalar que el EDTA puede tener una fuerte acción sobre el blanco de plomo (Wolbers, 2000:114).

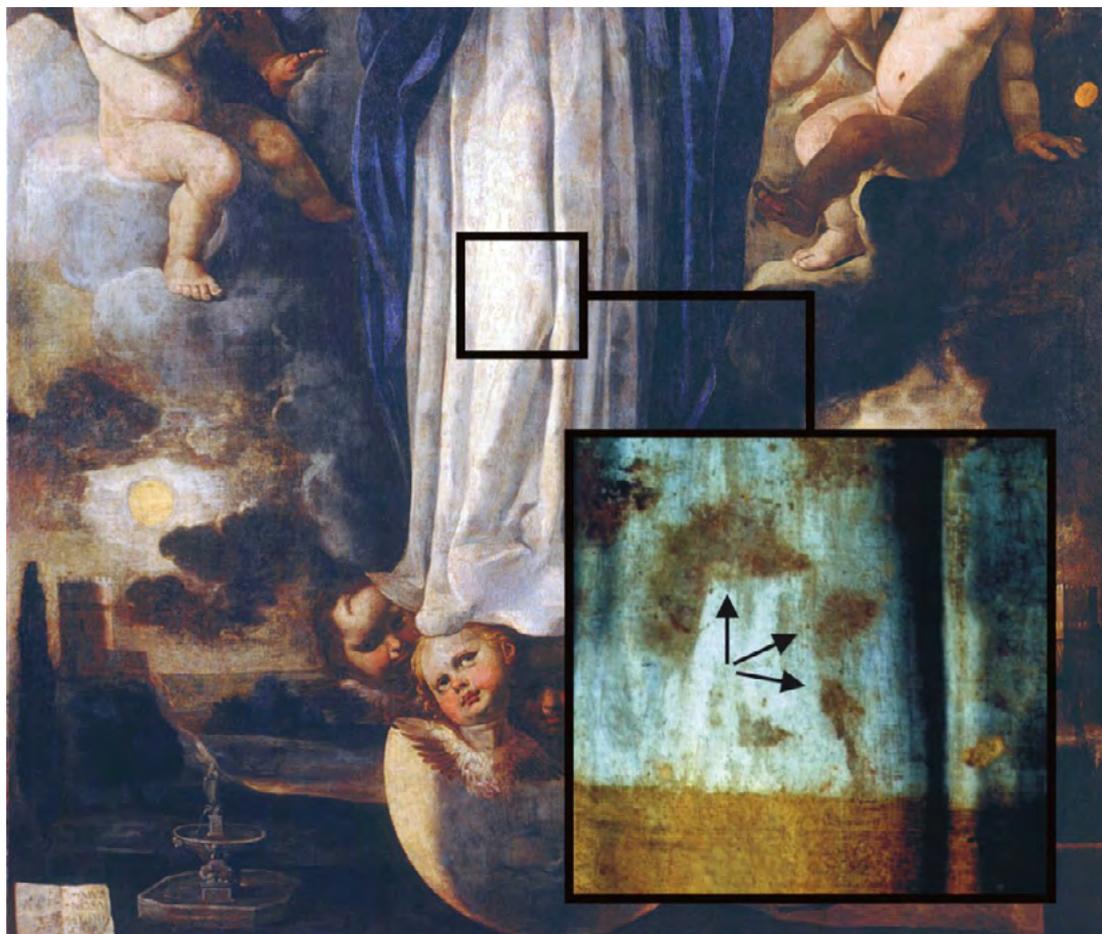


Figura 5 - Eliminación de estucos grasos en una pintura del s. XVII con EDTA-Na_4 (0,5g/50 ml de agua destilada)

Los quelantes son muy útiles en una gran variedad de procesos de limpieza, pero también pueden suponer graves riesgos para la conservación de la pintura original. En primer lugar, hay que recordar algo muy obvio: se trata de un sistema acuoso y el agua puede provocar el reblandecimiento de estructuras pictóricas (Hedley, 1990). En segundo lugar, el poder de limpieza de los quelantes es explicado generalmente por su capacidad de capturar iones metálicos en un medio acuoso. Sin embargo, la suciedad puede estar compuesta por un alto porcentaje de material orgánico y, de hecho, se ha podido comprobar la efectividad de estos agentes químicos en la extracción de estratos compuestos tanto por material orgánico como inorgánico (Perry, 1990; Phenix y Burnstock, 1992:30). Esto implica que los quelantes también pueden actuar tanto sobre los pigmentos como sobre los aglutinantes de la estructura pictórica original. Existen estudios que confirman el riesgo de utilizar los citratos en pinturas no barnizadas: además del peligro para la conservación de los pigmentos originales, también se pueden producir daños en el aglutinante al incrementar el pH (Morrison, 2007:262). Tres factores que han de tenerse en cuenta para comprender

el comportamiento de un agente quelante son la constante de estabilidad (Log K), el pH y la concentración iónica.

La capacidad de un quelante para formar complejos con un determinado ion metálico está establecida a partir de la constante de estabilidad del complejo. El quelante atraparé preferentemente aquellos iones con los que vaya a formar el complejo más estable, es decir que presenten un Log K con un valor más alto. Por ejemplo, los citratos son muy buenos quelantes para Fe^{3+} (Log K 10,9) y Cu^{2+} (Log K 6,1). El ácido cítrico puede sustituirse por EDTA, aunque hay que tener en cuenta la mayor constante de estabilidad de este último (Log K 25,1 para Fe^{3+} y 18,8 para Cu^{2+}). Esto puede ser muy positivo en la extracción de los depósitos no originales pero puede presentar mayores riesgos si el quelante entra en contacto con la estructura pictórica original. Las capas pictóricas que pueden verse afectadas más fácilmente son aquellas que están relativamente poco aglutinadas y por lo tanto con una mayor concentración de pigmentos expuestos en la superficie.

Diversos estudios han mostrado la importancia del pH en la limpieza con sistemas acuosos (Burnstock y White, 1990; Burnstock y Learner, 1992). Normalmente las disoluciones acuosas se emplean a un pH entre 8 y 9, ya que producen mejores resultados (Phenix y Burnstock, 1992:29), en especial si se desean eliminar materiales grasos. En la figura 6 se puede observar cómo es extraído el barniz al utilizar un sistema de limpieza compuesto por 0,5g de ácido cítrico/50 ml de agua destilada, añadiendo TEA hasta obtener un pH 9. Sin embargo, aunque estos sistemas son efectivos es preferible no superar los valores recomendados de pH según la composición del estrato que se quiere eliminar y la del estrato que se debe conservar: en general, se acepta la recomendación de Wolbers (2000:19) de mantenerse dentro del intervalo de pH 5,5-8,5 para la limpieza sobre estructuras pictóricas con aglutinantes oleosos. Si se trabaja con sistemas que presentan un pH superior a los aconsejados, se incrementa el riesgo de pérdida de pigmentos y la erosión del estrato pictórico (Burnstock y Learner, 1992).

Otro factor fundamental es la concentración iónica, es decir, la cantidad de iones presentes en la disolución. Si la concentración es muy elevada, los iones se difundirán hacia el interior de la estructura pictórica, ejerciendo una presión sobre la superficie: si esta presión es muy elevada existe el riesgo de disgregar la pintura. Wolbers considera que las disoluciones acuosas utilizadas en procesos de limpieza han de tener un valor de conductividad dentro del intervalo 4-8 mS/cm para evitar este tipo de riesgos (Cremonesi, 2004).

Por último, un problema de gran importancia es el de los posibles residuos del quelante. En el proceso de eliminación de estos residuos, el aclarado con agua suele ser suficiente. Normalmente las concentraciones utilizadas en los estudios publicados no superan el 5% de peso en volumen de disolución. Aunque la concentración influye en la eficacia, se ha comprobado que las concentraciones bajas de citratos (incluso a un 0,1%), a un pH óptimo, pueden ser más efectivas a la vez que se reducen los riesgos para la estructura pictórica original, tanto en pinturas barnizadas como no barnizadas. También se ha comprobado

que con la utilización de este tipo de disoluciones no se detectan residuos después de realizar el aclarado (Morrison y otros, 2007). Las concentraciones del 10% o superiores son inadecuadas, ya que afectan a la superficie de la pintura o el barniz de forma evidente (Burnstock y van der Berg, 2004).

Conclusiones

El ácido cítrico y el EDTA son cada vez más habituales en procesos de limpieza, aunque su aplicación a la pintura de caballete sea relativamente reciente. Se trata de herramientas muy versátiles que pueden utilizarse en la extracción de una amplia variedad de materiales, cuando el agua por sí sola o combinada con tensoactivos y/o bases no ofrece los resultados deseados.

A partir de los estudios realizados en este trabajo y en otros ya publicados se puede apreciar la importancia que pueden tener las variaciones en el pH y cómo la presencia o ausencia de un tensoactivo y/o un espesante pueden modificar notablemente la capacidad del sistema de limpieza para extraer un material depositado. También es importante tener en cuenta que un mayor pH o una mayor concentración no implica en todos los casos una mayor efectividad, por lo que conviene siempre trabajar con sistemas que presenten un pH adecuado para la conservación de los estratos subyacentes y a una concentración lo más baja posible. La adición de un tensoactivo es útil cuando se produce un evidente incremento en la efectividad. Si no es así, no tiene sentido incorporar agentes químicos no volátiles que pueden suponer una mayor aportación de residuos a la obra. También se puede señalar que, en general, es preferible el uso de los citratos, debido a su menor poder quelante, con respecto a las sales de EDTA. Esto supone un mayor control y seguridad con respecto a los materiales originales.

Todavía son necesarias investigaciones mucho más completas que permitan el desarrollo de protocolos en el uso de los agentes químicos, en especial en el de los quelantes, todavía no demasiado bien conocidos en todas sus posibilidades en el campo de la pintura de caballete. Esto es importante para ajustar los sistemas de limpieza a cada caso concreto y no limitarse a copiar las recetas publicadas. Es muy prometedor el desarrollo del *Modular Cleaning Program* (Stavroudis, 2009), que supone una forma de organizar de forma más adecuada la selección de los agentes químicos que pueden utilizarse en las pruebas de limpieza.

Los quelantes pueden resultar muy atractivos para solucionar complejos problemas de limpieza, aunque el restaurador también ha de ser muy consciente de sus limitaciones y del riesgo que pueden suponer para la estructura pictórica original.

Anexo 1: ensayos

(1.1) Ácido cítrico+trietanolamina (TEA): serie de ensayos con ácido cítrico (0,5g), agua destilada (50ml), añadiendo TEA hasta obtener un pH 5, pH 7 y pH 9. Después de realizar pruebas con cada una de estas tres mezclas, se añadió a cada una 0,5ml de Tween® 20, se realizaron nuevas pruebas, y, por último, se incorporó el espesante (2,5g de Tylose® MH 300P). Se realizaron otras nueve pruebas con los mismos componentes, pero aumentando la cantidad de ácido cítrico a 2g y añadiendo TEA hasta obtener los mismos valores de pH.

(1.2) Ácido cítrico+hidróxido de amonio: el proceso seguido ha sido el mismo: una primera serie de mezclas con 0,5g de ácido cítrico a un pH 5, pH 7 y pH 9; una segunda serie con 2g de ácido cítrico a los mismos valores de pH. El resto de componentes se han empleado de la misma forma que en las mezclas con TEA.

(1.3) Ácido cítrico+Tris base: sólo se preparó una serie de 9 mezclas con 0,5g de ácido cítrico a un pH 5, pH 7 y pH 9. El resto de componentes se emplearon de la misma forma que en las mezclas anteriores.

(1.4) EDTA+TEA: serie de ensayos con EDTA (0,25g), agua destilada (25ml), añadiendo TEA hasta obtener un pH 5, pH 7 y pH 9. Después de realizar pruebas con cada una de estas tres mezclas, se añadió a cada una 0,25ml de Tween® 20, se realizaron nuevas pruebas, y, por último, se incorporó el espesante (1g de Tylose® MH 300P). Se realizaron otras nueve pruebas con los mismos componentes, pero aumentando la cantidad de EDTA a 1g y añadiendo TEA hasta obtener los mismos valores de pH.

(1.5) EDTA+hidróxido de amonio: al igual que en el anterior grupo de ensayos, se prepararon mezclas con 0,25g y con 1g de EDTA, a los mismos valores de pH y con los mismos componentes.

(1.6) EDTA+Tris base: sólo se preparó una serie de 9 mezclas con 1g de EDTA a un pH 5, 7 y 9. El resto de componentes se emplearon de la misma forma que en las mezclas anteriores.

(1.7) EDTA Na₄: se prepararon 2 series de 3 mezclas cada una. En la primera se empleó 0,25g de EDTA Na₄ y 25 ml de agua destilada, añadiendo posteriormente 0,25ml de Tween® 20 y 1g de Tylose® MH 300P. En la segunda serie, se emplearon los mismos componentes, pero la cantidad de EDTA Na₄ se incrementó a 1g.

Anexo 2: materiales

Ácido etilendiaminotetraacético PRS-CODEX. C₁₀H₁₆N₂O₈. M.= 292,24. CAS: 60-00-4. Sumistrado por Panreac Química SA.

Ácido etilendiaminotetraacético sal tetrasódica 4-hidrato (purísimo). Na₄C₁₀H₁₂N₂O₈·4H₂O (pH sol. al 1% 11,0-11,4). M.= 452,24. CAS: 13235-36-4. Sumistrado por Panreac Química SA.

Utilización de ácido cítrico y EDTA en la limpieza de estructuras pictóricas

José Manuel Barros García | Sheila Llano Torre | Marina Rodríguez Serrano

Ácido cítrico anhidro PRS-CODEX. $C_6H_8O_7$. M.= 192,13. CAS: 77-92-9. Sumistrado por Panreac Química SA.

Tween® 20. Tensoactivo no iónico. Monolaurato de sorbitán polioxietilenado (polisorbato 20). CAS: 9005-64-5. Sumistrado por CTS España.

Trietanolamina PRS-CODEX. $C_6H_{15}NO_3$. M.= 149,19. CAS: 102-71-6. Sumistrado por Panreac Química SA.

Tylose® MH 300P. Metilhidroxietilcelulosa. Viscosidad 500mPa•s (20°C). Sumistrado por CTS España.

Hidróxido de amonio 25% PA. M.= 17,03. CAS: 1336-21-6. Sumistrado por Panreac Química SA.

Tris (Hidroximetil) Aminometano. $NH_2C(CH_2OH)_3$. CAS: 77-86-1. Sumistrado por Sigma-Aldrich.

Referencias

AGUILAR SANJUÁN, Manuel. *Introducción a los equilibrios iónicos*. Barcelona: Reverté, 1999.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *Dictionary of organic compounds, Volume 2*. London: Chapman & Hall, 1996.

BARROS GARCÍA, José Manuel. *Imágenes y sedimentos. La limpieza en la conservación del patrimonio pictórico*. Valencia: Institución Alfonso el Magnánimo, 2005.

BRACCO, Paola; CIAPPI, Ottavio. Problemi di pulitura dalla Croce di Santa Maria Novella alla Croce di Ognissanti. In *Restauro e ricerche. Dipinti su tela e tavola*. Firenze: EDIFIR-Edizioni Firenze, 2004, pp. 39-49.

BURNSTOCK, Aviva; LEARNER, Tom. Changes in the surface characteristics of artificially aged mastic varnishes after cleaning using alkaline reagents. In: *Studies in Conservation*. London: IIC. Vol. 37 (1992), pp. 165-184.

BURNSTOCK, Aviva; VAN DER BERG, Klaas Jan. A pilot study of the effects of triammonium citrate solutions used for surface cleaning paintings. In *Contributions to the AIC Congress, Portland, Oregon, 9-14 June 2004, Paintings Speciality Group: Postprints*. Washington DC: AIC, 2005, vol. 17, pp. 56-64.

BURNSTOCK, Aviva; WHITE, Raymond. The effects of selected solvents and soaps on a simulated canvas painting. In *Cleaning, Retouching and Coatings*. London: IIC, 1990, pp. 111-118.

CARLYLE, Leslie; TOWNSEND, Joyce H.; HACKNEY, Stephen. Triammonium citrate: an

investigation into its application for surface cleaning. In *Dirt and pictures separated*. London: United Kingdom Institute of Conservation, 1990, pp. 44-48.

CREMONESI, Paolo. *L'uso dei solventi organici nella pulitura di opere policrome*. Padova: il prato, 2000.

CREMONESI, Paolo. *L'uso di tensioattivi e chelanti nella pulitura di opere policrome*. Padova: il prato, 2004.

DOMÉNECH CARBÓ, María Teresa; YUSÁ MARCO, Dolores Julia. *Aspectos físico químicos de la pintura mural y su limpieza*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006.

HEDLEY, Gerry; ODLYHA, Marianne; BURNSTOCK, Aviva; TILLINGHAST, Jane; HUSBAND, Camilla. A study of the mechanical and surface properties of oil paint films treated with organic solvents and water. In: *Cleaning, Retouching and Coatings*. London: IIC, 1990, pp. 98-105.

JOURDAIN-TRELUYER, V. L'E.D.T.A. et ses sels sodiques, quelques précisions. In: *Conservation-Restauration des biens culturels*. Paris: ARAAFU (1991), pp. 57-61.

LLANO TORRE, Sheila. *Utilización de ácido cítrico en limpieza de pintura*. 2008. Tesis de máster oficial. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia.

MONCRIEFF, Ann; WEAVER, Graham. *Science for conservators. Volume 2: Cleaning*. London: Routledge, 1992.

MORRISON, Rachel; BAGLEY-YOUNG, Abigail; BURNSTOCK, Aviva; VAN DER BERG, Klaas Jan.; VAN KEULEN, Henk. An investigation of parameters for the use of citrate solutions for surface cleaning unvarnished paintings. In: *Studies in Conservation*. London: IIC. Vol. 52 (4) (2007), pp. 255-270.

MYERS, Richard L. *The 100 most important chemical compounds: a reference guide*. Westport, Conn.: Greenwood Press, 2007.

PERRY, Roy A. Problems of dirt accumulation and its removal from unvarnished paintings: a practical review. In *Dirt and pictures separated*. London: United Kingdom Institute of Conservation, 1990, pp. 3-6.

PHENIX, Alan; BURNSTOCK, Aviva. The deposition of dirt: a review of the literature, with scanning electron microscope studies of dirt on selected paintings. In *Dirt and pictures separated*. London: United Kingdom Institute of Conservation, 1990, pp. 11-18.

PHENIX, Alan; BURNSTOCK, Aviva. The removal of surface dirt on paintings with chelating agents. In: *The Conservator*. London: ICON. Vol.16 (1992), pp. 28-38.

RODRÍGUEZ SERRANO, Marina. *Limpieza superficial de pintura de caballete mediante soluciones acuosas de EDTA*. 2008. Tesis de máster oficial. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universidad Politécnica de Valencia.

SIGMA-ALDRICH. «Citric acid. Ficha de datos de seguridad». 2010. [consulta: 30.03.2011].

[HTTP://WWW.SIGMAALDRICH.COM/](http://www.sigmaaldrich.com/).

SIGMA-ALDRICH. «Ethylenediaminetetraacetic acid. Ficha de datos de seguridad». 2010. [consulta: 30.03.2011]. [HTTP://WWW.SIGMAALDRICH.COM/](http://www.sigmaaldrich.com/).

SLAVIN, John. The removal of salt deposits from decorative paintings on paper. In *Dirt and pictures separated*. London: United Kingdom Institute of Conservation, 1990, pp. 49-50.

STAVROUDIS, Chris. «The Modular Cleaning Program». 2009 [consulta: 30.03.2011]. [HTTP://COOL.CONSERVATION-US.ORG/BYAUTH/STAVROUDIS/MCP/](http://cool.conservation-us.org/byauth/stavroudis/mcp/).

VEDOVELLO, Sabina. L'intervento di restauro. In *Carpaccio, Bellini, Tura, Antonello e altri restauri quattrocenteschi della Pinacoteca del Museo Correr*. Milano: Electa, 1993, pp. 100-209.

WOLBERS, Richard. Cleaning Painted Surfaces. *Aqueous Methods*. London: Archetype, 2000.

Notas biográficas

José Manuel Barros García - Doctor en Bellas Artes, investigador del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y profesor en el Departamento de Conservación y Restauración de la UPV. Es autor del libro *Imágenes y sedimentos: la limpieza en la conservación del patrimonio pictórico* (2005).

JOBARGAR@CRBC.UPV.ES

Sheila Llano Torre - Conservadora-restauradora de bienes culturales. Master Oficial en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, especialidad en pintura de caballete y retablo, por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV); Licenciada en Bellas Artes, por la Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

SH.LLA.TOR@GMAIL.COM

Marina Rodríguez Serrano - Conservadora-restauradora de bienes culturales. Máster Oficial en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, especialidad en Pintura de Caballete, por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV); Licenciada en Bellas Artes con la especialidad en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad de Barcelona (UB).

ANIRAMARINA7@GMAIL.COM