

Escuela Nacional de Conservación, Restauración
y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”

Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación

Nora A. Pérez
Denise Charua
Sarahy Fernández

Estudios sobre conservación, restauración y museología

V O L U M E N II

ISBN: 978-607-484-649-2

comisionpublicacionesencrym@gmail.com
www.publicaciones-encrym.org

Palabras clave

Mucílago, goma, nopal, consolidante.

Resumen

Durante el periodo 2008-2010, el Seminario-Taller de Conservación de Pintura Mural de la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO) realizó distintos proyectos de investigación que involucraron la evaluación de los métodos de extracción del mucílago y goma del nopal (*Opuntia spp.*) con el objetivo de emplearlo como aditivo en morteros, como consolidante y fijativo. En este trabajo presentamos los resultados más relevantes respecto a la forma de preparación de las disoluciones de goma y mucílago, además de la medición de sus propiedades como consolidante por medio de pruebas accesibles para un taller de conservación estándar.

Introducción

Desde la Antigüedad, los materiales obtenidos de la naturaleza han sido utilizados por el hombre para la producción de bienes culturales. Las civilizaciones antiguas desarrollaron el conocimiento de los materiales existentes en su entorno, y perfeccionaron los procesos para su obtención y sus aplicaciones. En México se han empleado diferentes materiales orgánicos, siendo el mucílago de nopal uno de los más comunes.

Sus propiedades han sido aprovechadas para modificar y mejorar las características de algunos materiales empleados en la construcción y sus recubrimientos. Desde hace algunos años se ha experimentado en el uso de este material en el campo de la conservación-restauración, buscando alternati-

vas compatibles y adecuadas con distintos sistemas de construcción y obra mural.

Su principal uso ha sido como aditivo en morteros de cal, pues ha demostrado que mejora su plasticidad y propiedades de fraguado, mientras en las construcciones de adobe tanto el mucílago como la goma de nopal se han utilizado como consolidante y/o fijativo con buenos resultados (Bucio, 2008: 8).

Debido a la experiencia colectiva transmitida entre los restauradores y el uso tradicional de este material en distintas regiones de la República Mexicana, a partir de 1996 la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del INAH comenzó a recomendar, con buenos resultados, los morteros de cal mezclados con exudados vegetales de plantas locales para la conservación de construcciones en diferentes proyectos (Jáidar, 2006: 105). Por su facilidad de obtención en muchas regiones del país, el nopal ha sido uno de los más utilizados.

Sin embargo, es importante resaltar que a pesar de las pruebas realizadas en diversos proyectos de intervención —en las que su aplicación ha demostrado ser eficiente—, no ha sido posible realizar una evaluación sistemática que mida su efectividad a causa de la gran cantidad de variables tanto en su preparación como en las condiciones de aplicación.

Por otra parte, en los antecedentes registrados se identificó que el mucílago de nopal se extrae, añade y usa de manera distinta en cada lugar: las proporciones de agua y penca de nopal varían en cada caso; muchas veces depende de la experiencia del restaurador o de los trabajadores que han asesorado el procedimiento.

La goma se obtiene cuando la saliva de un gusano barrenador (plaga de los nopales), al ir comiendo y penetrando por el nopal, reacciona con el mucílago dando como resultado una sustancia blanca que escurre por la galería hecha por el insecto; la sustancia se presenta en forma de gruesas lágrimas: pedazos redondos o aplastados y algo cóncavos en su parte

inferior —la que se adhiere a la corteza del nopal (Oliva, 1853: 288-289)—. La diferencia entre los métodos de obtención y de preparación puede tener un efecto posterior en sus propiedades.

Es por ello que, con el objetivo de realizar una evaluación metodológica de las cualidades del mucílago y de la goma de nopal (desde su extracción y preparación) que sirviera como un punto de referencia para futuras investigaciones, en el Seminario Taller de Restauración de Pintura Mural de la ECRO, entre 2006 y 2008 se desarrollaron cuatro líneas de investigación: 1) evaluación de distintos métodos de extracción del mucílago de nopal; 2) evaluación de propiedades mecánicas de morteros cuyo aditivo fue el mucílago de nopal; 3) purificación de la goma de nopal, y 4) preparación de disoluciones de goma de nopal y evaluación como consolidante de adobe en un contexto controlado.

Cuando se emprendieron estos proyectos de investigación en la ECRO, el mucílago de nopal se estudiaba en relación con sus posibles aplicaciones en la industria cementera, en los que actuaba como Inhibidor de corrosión, agente modificador de viscosidad, sustituto de agua y estabilizante de la mezcla de fluidos, además es un inclusor del aire (Cano, s/f).

Tanto el mucílago como la goma de nopal son sustancias orgánicas denominadas polisacáridos —especialmente la galactosa, arabinosa, ramnosa y xilosa además de algunas proteínas—; sin embargo, al ser una estructura muy compleja y determinada en su relación de polímeros por la especie de nopal, la época de recolección y edad de la planta, los datos sobre la estructura química no estaban bien definidos. En particular, la goma de nopal presenta características similares a las de otros exudados vegetales ampliamente utilizados como aglutinantes, entre ellos la goma arábiga o el tragacanto, y al ser disuelta en agua forma una suspensión fluida con capacidad adhesiva (Magaloni, 2007: s/p, Cárdenas, 1998:64-71).

El empleo del mucílago de nopal coincidía en todos los casos en sus buenos resultados como aditivo y en el incremento de las propiedades de los morteros, ya que proporciona una mayor facilidad de manejo y minimiza las grietas (Jáidar Benavides, 2006: 106-108, Cárdenas, 1998:64-71); por otro lado, sobre el resultado del empleo de la goma de nopal como consolidante se reportaba que ofrecía una eficiente consolidación de los muros de adobe expuesto.

En la investigación de Cárdenas (1998), el efecto del mucílago de nopal en cal se reportó en un estudio sobre el comportamiento mecánico de la pasta de cal, realizados solamente sobre sus propiedades instantáneas, como son el estrés máximo y la deformación. Se notó que el mucílago, inclusive en las concentraciones más bajas, interrumpía la red tridimensional formada por el hidróxido de calcio y ocasionaba una disminución en el desempeño de sus propiedades mecánicas en pruebas de esfuerzo-deformación con respecto a un testigo exento del mucílago. Respecto a la goma de nopal, no se encontraron reportados estudios sobre sus propiedades.

Con base en estos antecedentes, el Seminario Taller de Restauración de Pintura Mural de la ECRO inició una serie de experimentos sistemáticos en los cuales, para tener mayor control del experimento y poder interpretar los resultados con mayor claridad, se decidió reducir la cantidad de variables mediante el uso de una sola especie de nopal: en la extracción del mucílago se utilizó la especie denominada *Opuntia ficus indica*, mientras en la extracción de goma se utilizó la especie *Opuntia microdasys*, ambas obtenidas de un mismo lote, con el propósito de evitar diferencias en la composición, coloración y adhesividad, entre otros factores.

Las pruebas fueron realizadas por alumnos de tres generaciones del Seminario Taller de Pintura Mural; además se contó con el apoyo del Departamento de Ingeniería Civil y el Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales del Instituto

Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), el Departamento de Cactología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, y del restaurador Gabriel Severiano Flores, participante del Proyecto de La Ventilla, Teotihuacán.

Extracción de mucílago de nopal

Para la extracción del mucílago de nopal existen diferentes procedimientos. En esta etapa de la investigación se buscó identificar si las características del mucílago y su rendimiento como material de conservación dependen del método de extracción. A partir de una investigación documental se seleccionaron tres de los procedimientos más representativos, con el objetivo de determinar el que tuviera un mejor rendimiento en concentración del polisacárido. En cada método se midió la concentración del mucílago en grados Brix mediante un refractómetro de mano. A continuación se describen los métodos utilizados para la extracción:

Método 1. Se realizó calentando el nopal picado y sumergiéndolo en agua destilada a 40°C en baño maría durante 4 horas, se agregó posteriormente alcohol isopropílico para facilitar la separación de mucílago y agua. Luego se filtró el precipitado y se dejó secar en un horno a 70°C.

Método 2. Se cortaron las pencas de nopal en pequeños trozos y se dejaron macerar durante 24 horas en agua destilada. Luego se prensó, para tratar de obtener la mayor cantidad de mucílago posible, y se filtró.

Método 3. Se colocaron las pencas de nopal molidas en agua destilada y se calentó durante 10 minutos a una temperatura de 90°C. Posteriormente se sometieron a centrifugación.

Por tanto, a partir de estos resultados se puede concluir que los diferentes métodos de extracción no tienen un impacto significativo en la calidad de mucílago obtenido, sino en su rendimiento; en ese sentido, la muestra obtenida con el método 3 presentó menor cantidad de polisacárido (véase Figura 1).

Método de extracción	Concentración °Brix
No. 1	17
No. 2	15
No. 3	8

Figura 1. Resultados expresados en grados Brix del porcentaje de extracción del mucílago de nopal por método de extracción.

Las probetas fueron almacenadas para observar el tiempo de descomposición; para ello la mitad de cada una de las muestras se mantuvo sin refrigeración y la otra mitad fue refrigerada. Después de un mes sin refrigeración, el mucílago obtenido con los métodos 2 y 3 comenzó un proceso de putrefacción; se observó que el mucílago obtenido con el método 1 fue el más resistente. Las muestras almacenadas en refrigeración tardaron de 2 a 3 meses en descomponerse, y las muestras preparadas con alcohol (método 1) nunca presentaron ataque de microorganismos.

Evaluación de propiedades mecánicas de morteros cuyo aditivo es el mucílago de nopal

A partir del método de extracción 2 se elaboraron morteros de cal y se manejaron dos variables: cargas y proporciones, para así evaluar las modificaciones de las propiedades mecánicas que se pueden generar en ellos con base en su formulación. Con tal propósito se utilizó cal química de la marca Calquimex, apagada 6 meses antes de iniciar la investigación.

Las cargas empleadas fueron arena amarilla, polvo de ladrillo y polvo de mármol, cada una preparada en dos proporciones de cal-carga: 1:1 y 3:1. Se eligieron estas cargas por tratarse de materiales inertes y estables químicamente, utilizados con frecuencia en la producción del patrimonio cultural, y se seleccionaron de tres naturalezas distintas: silíceas, calizas y silicoaluminatos, para evaluar si la diferencia en la naturaleza de las cargas tiene alguna influencia en el uso del mucílago de nopal como aditivo en morteros de cal.

Por supuesto las cargas fueron lavadas previamente, para eliminar cualquier impureza que pudiera alterar los resultados del experimento; y una vez secas, fueron cribadas. Se utilizó un grano medio para obtener probetas homogéneas en cuanto a textura y porosidad representativa para su estudio. El grano medio permite obtener probetas de tamaño y dureza adecuados para las pruebas mecánicas sin una contracción excesiva, pero reduce espacios vacíos en el mortero. Se emplearon diversas mezclas de control: a unas se les añadió sólo agua y en otras se agregó mucílago de nopal como aditivo. Para tener mayor control de los resultados, se midió la cantidad de agua y de mucílago agregado a cada probeta, y se utilizó un molde a fin de controlar las dimensiones.

En los morteros fraguados se evaluó la resistencia mecánica en una prensa universal de pruebas modelo UH-1000kNI marca Shimadzu Corporation Japan; se midió la dureza mediante la

escala de Mohs; la absorción de agua de cada mortero se midió al registrar la altura del perfil de capilaridad través del tiempo y el cambio de dimensiones de los morteros (Pérez, 2007).

La absorción de agua en las probetas con polvo de mármol se observó que los morteros con mayor proporción de carga absorbían a mayor velocidad el agua; en la probeta de mucílago de nopal de proporción 1:3 comenzó a disgregarse el material, ocasionado por la falta de cementante —lo cual no permitió la cohesión necesaria de la carga—. A su vez, en los morteros proporción 1:1 la absorción fue más lenta; sin embargo, en el mortero con mucílago de nopal de esta proporción fue mucho más lento este mismo proceso, mostrando una mayor resistencia al fenómeno (véase Figura 2).

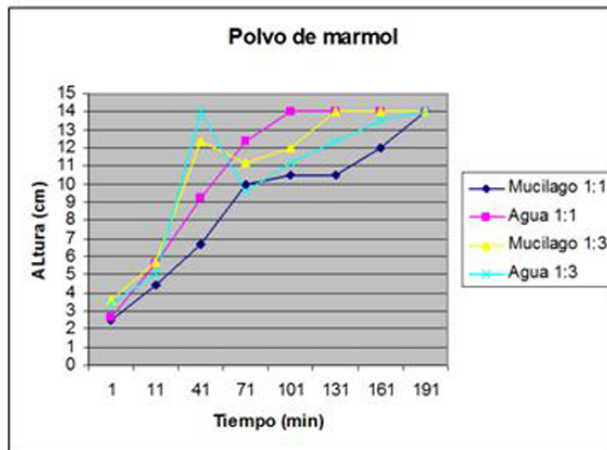


Figura 2. Gráfica de cm absorbidos de agua vs tiempo para los morteros con carga de polvo de mármol.

Las probetas con polvo de ladrillo se saturaron de agua en poco tiempo, por las mismas propiedades de la carga. En el caso específico de la probeta, elaborada con mucílago de nopal en proporción 1:3, transcurridos 41 minutos se colapsó por la

disgregación del material, debido a la insuficiente aglomeración del cementante en la carga. Todas las probetas mostraron un comportamiento similar, sin importar el aditivo; en consecuencia, se puede concluir que la baba de nopal no aporta propiedades de resistencia a la permeabilidad de agua mezclada con polvo de ladrillo como carga en el mortero, debido a que la interacción del mucílago tiene lugar más bien con grupos hidroxilo de la cal (véase Figura 3).

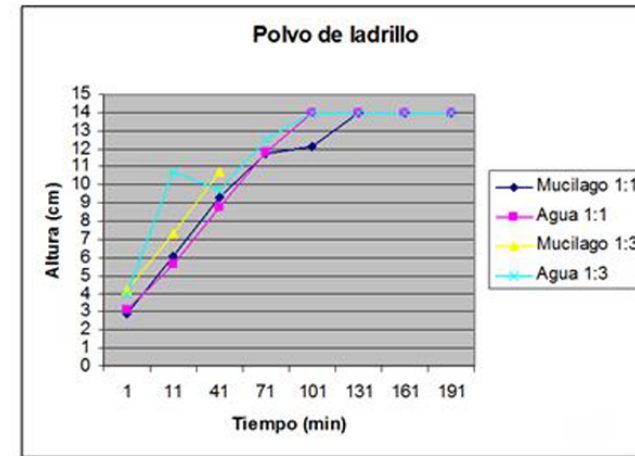


Figura 3. Gráfica absorción de agua vs tiempo para los morteros con carga de polvo de ladrillo.

La absorción de agua en las probetas de arena amarilla ocurrió de manera constante, comparada con las anteriores; esto se debe a las formas redondeas de las partículas de arena amarilla, permiten mayor punto de contacto entre ellas. En este caso la adición de mucílago en ambas proporciones disminuyó la velocidad de absorción en comparación con los morteros que sólo utilizaron agua (véase Figura 4).

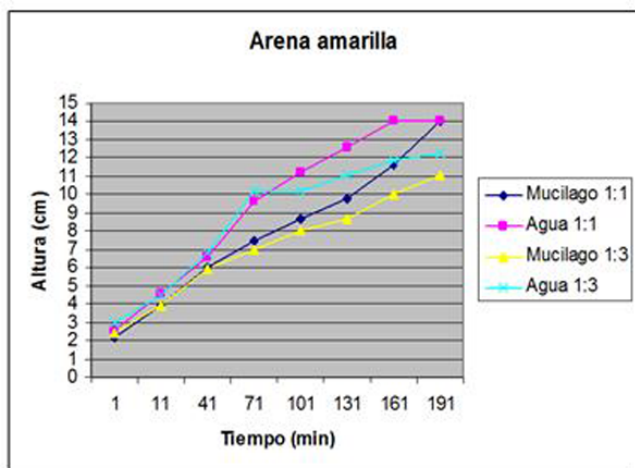


Figura 4. Gráfica de cm absorbidos de agua vs tiempo para los morteros con carga de arena amarilla.

La contracción de los morteros sí se ve afectada por la carga y el aditivo. En el caso del polvo de mármol en proporción 1:1 la adición de mucilago disminuyó la contracción, pero no fue así en la proporción 1:3. En morteros con polvo de ladrillo con el mucilago fue mayor la contracción, mientras con la arena amarilla se observó el mismo comportamiento que con el polvo de mármol; en consecuencia, la adición de mucilago debe ser selectiva de acuerdo con las cargas utilizadas, puesto que no actúa de la misma manera en todos los casos (véase Figura 5).

Proporción	Aditivo	Polvo de mármol	Polvo de ladrillo	Arena amarilla
1:1	Mucilago de nopal	0.33 cm	0.33 cm	0.23 cm
1:1	Agua	0.46 cm	0.20 cm	0.56 cm
1:3	Mucilago de nopal	0.23 cm	0.13 cm	0.23 cm
1:3	Agua	0.13 cm	0.10 cm	0.16 cm

Figura 5. Valor promedio de contracción de los morteros.

La medición de dureza de acuerdo con la escala de Mohs y la prueba de esfuerzo-deformación en la prensa universal brindaron datos que se pudieron correlacionar (véase Figuras 6 y 7). Las variantes registradas en la prueba mecánica obedecen a que las muestras presentaban irregularidades en su forma; por tanto, esos datos no deben ser considerados concluyentes. No obstante, las probetas que resistieron mayor fuerza de compresión fueron las elaboradas con el aditivo de mucilago de nopal, por lo cual podría decirse, nuevamente, que su adición favoreció las propiedades mecánicas de los morteros con polvo de mármol y arena amarilla.

Proporción	Aditivo	Polvo de mármol	Polvo de ladrillo	Arena amarilla
1:1	Mucilago de nopal	2	2	5
1:1	Agua	2	1	3
1:3	Mucilago de nopal	5	5	5
1:3	Agua	2	1	4

Figura 6. Valor de dureza de acuerdo con la escala de Mohs de los morteros.

Proporción	Aditivo	Polvo de mármol	Polvo de ladrillo	Arena amarilla
1:1	Mucilago de nopal	4.83	3.36	5.75
1:1	Agua	2.97	4.66	6.42
1:3	Mucilago de nopal	11.73	4.62	9.77
1:3	Agua	3.93	2.77	2.16

Figura 7. Esfuerzo máximo (kg / cm²) de los morteros en la prueba esfuerzo-deformación.

Como conclusión, se observó que las proporciones 1:3 de polvo de mármol y arena amarilla presentan mayor compatibilidad con el mucílago de nopal; es decir, en esta proporción el mucílago aumenta de modo considerable las propiedades mecánicas de los morteros: presenta menor contracción, mayor dureza y resistencia a un esfuerzo máximo, en consecuencia, estos resultados están relacionados de forma estrecha con el material y la proporción utilizada.

Preparación de la goma de nopal

La recolección de la goma de nopal se realizó durante la visita hecha por el Seminario de Pintura Mural de la ECRO a la zona arqueológica de “La Ventilla” en San Juan Teotihuacán, Estado de México. Ahí, el restaurador Gabriel Severiano Flores nos habló de la recolección, uso, preparación y resultados obtenidos en la aplicación de la goma de nopal como consolidante de adobes, proceso que estaban empleando en la zona arqueológica. Tras lo cual, se siguieron dos diferentes métodos para purificar y extraer la goma de nopal, además de prepararla a diferentes proporciones para ser utilizada como consolidante en elementos de tierra conocidos como adobes.

Experimento 1. Consistió en limpiar y triturar la goma en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo y granulometría más pequeña y uniforme y pequeña, para favorecer la disolución del material en agua destilada.

La solución se preparó calentando agua hasta que alcanzó el punto de ebullición; entonces se añadió la goma y se bajó la temperatura, agitando constantemente hasta que la goma dejó de estar en la superficie. Al final fue necesario mantener la goma a alta temperatura pero sin llegar al punto de ebu-

llición, para evitar desnaturalizarla; después la solución fue colada para eliminar impurezas.

Experimento 2. Para este experimento se colectó la goma en el Centro de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara; se limpió y se preparó de diferentes maneras para determinar cuál resultaba más adecuada para su uso como consolidante. Se probaron distintos métodos de preparación para la goma, pues en algunos casos la coloración era muy oscura, y en otras se obtenía un material tan viscoso que se dificultaba la aplicación.

Método 1. Una vez limpia, la goma se trituro para preparar una solución acuosa en agua destilada, calentándola hasta lograr que se integrara totalmente. Se colocó la goma en agua y se dejó hinchar durante 8 días sin usar calor; después se pasó por un procesador de alimentos para integrar las dos fases resultantes.

Con el método anterior se prepararon disoluciones en agua a concentraciones de 1%, 3% y 5%, y en cada disolución se midió la viscosidad mediante un viscosímetro Canon-Feske núm. 600. Primero se midió la densidad de cada disolución y luego se colocaron distintas películas en cajas de Petri, para observar su comportamiento a la intemperie. La contracción de la película de goma se midió con el método de Feller: éste consiste en aplicar una película de la disolución en papel aluminio y papel filtro, que con el secado de la goma causa una contracción de las hojas. Se midió el tono amarillento de las distintas disoluciones al impregnarse 16 hojas de papel fabriano de 5X5 cm divididas en cuatro grupos: uno de ellos permaneció en contacto directo con luz solar, el segundo fue expuesto a luz artificial, el tercero permaneció aislado de la luz y el cuarto se dejó dentro de un aula sin recibir luz directa. El experimento tuvo lugar durante seis días, para comparar el grado de degradación debido a la radiación.

Concentración en agua	Concentración	Viscosidad (cP)
1 %	NO	3.64
3 %	+	24.06
5 %	++	206.21

Figura 8. Resultados de evaluación de propiedades de la goma de nopal.

La viscosidad del consolidante fue directamente proporcional a la concentración de la disolución, pero aun así se determinó que la viscosidad de las mezclas a baja concentración es alta en comparación con el agua. Por otro lado, la contracción del consolidante aumenta conforme aumenta la concentración de la solución; en cuanto al cambio de coloración no se observaron cambios significativos, pero es importante tomar en cuenta que el tiempo de exposición fue de un mes, por lo que se requiere realizar pruebas de envejecimiento durante un periodo más largo.

Evaluación del mucílago y goma de nopal como consolidante de adobe

Se prepararon disoluciones acuosas de mucílago y goma en concentraciones de 20, 40, 60, 80, 90, 100 y 400%; el mucílago, sin diluir, se extrajo mediante el método I. Se aplicaron los materiales por goteo en muestras de adobe provenientes de una construcción del siglo XIX, ubicada en el Centro Histórico de la ciudad de Guadalajara.

Los adobes fueron seccionados para obtener catorce muestras de dimensiones similares. Debido a la fragilidad del material, no se trabajaron hasta hacerlas totalmente regulares, ya que esto las hubiese debilitado aún más. Se pro-

cedió a numerar las muestras para controlar su manejo y se continuó con el registro de peso, volumen, dureza y color de cada uno de ellos.

La aplicación del mucílago de nopal consistió en un goteo constante con jeringa sobre la superficie de la muestra de adobe, se hicieron tres soluciones a diferentes pH. Para modificar el pH de la baba de nopal se aplicó hidróxido de amonio (NH₄OH), contemplando que la primera lectura fue de 4.85 (mucílago de nopal sin aditamentos); las siguientes soluciones consistieron en agregar siete y nueve gotas de hidróxido de amonio en 35 mL para obtener un pH de 7 y de 9, respectivamente, que se entienden como ácido y básico. La intención de modificar el pH del mucílago se debió a que en la industria alimenticia se ha reportado que las propiedades gelificantes del polisacárido se modifican en función del pH (Pasquel, 2001:1-8), dado que las distintas interacciones moleculares permiten al mucílago pasar de un estado líquido a gel. Consideramos que este cambio en las propiedades del mucílago es útil para su empleo como consolidante.

La disolución de goma de nopal fue aplicada a siete muestras por medio de goteo con una jeringa, mientras el consolidante se probó en diferentes concentraciones y cantidades; en función de estas variables su penetración presentó una serie de cambios. Una vez aplicado el consolidante, se volvieron a registrar las propiedades organolépticas de las muestras.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que no se presentó un cambio drástico en cuanto a su apariencia: continuó siendo opaca; según la tabla Munsell, el color varió un tono, de 10YR6/3 a 10YR5/3, en tanto la dureza —según la escala de Mohs— pasó de 1 a 2 (véase Figura 9).



Color (Munsell)			Dureza (Mohs)	Pulverulencia
Antes de consolidar	10YR6/3		1	+++
Después de consolidar	10YR5/3		2	++

Figura 9. Resultados de propiedades después de consolidación con goma y mucílago de nopal.

Una vez que las muestras fueron sometidas al proceso de consolidación con mucílago y goma de nopal, fueron sujetas a desgaste acelerado durante periodos de 5, 10 y 20 minutos bajo la acción de un ventilador marca Myteck® de 50 watts, para medir la resistencia del consolidante.

Las superficies consolidadas de las muestras fueron sometidas a erosión acelerada, y en tal proceso las soluciones de goma de nopal al 100% y 400%, así como el mucílago sin disolver, resultaron ser las más estables y resistentes a la erosión simulada. La Figura 10 muestra los cambios en el peso de los morteros de adobe tras la consolidación y al final del proceso de erosión acelerada.

Consolidante	Diferencia de peso inicial y después de consolidar	Diferencia de peso después de erosionar
Goma	8.44 ± 8.0 g	0.74 ± 0.15 g
Mucílago	3.36 ± 0.7 g	0.56 ± 0.25 g

Figura 10. Diferencias de peso antes y después de consolidar, y luego de haberse consolidado los adobes sometidos al proceso de erosión eólica.

Consideraciones finales

Para determinar los procedimientos más adecuados en la intervención de bienes patrimoniales resulta indispensable conocer los materiales que serán empleados, además de su transformación en diferentes contextos. Estas investigaciones permiten realizar una primera evaluación de las características esenciales del mucílago y la goma de nopal, aportando elementos para determinar la pertinencia de su uso.

Las pruebas realizadas indican que el mucílago de nopal modifica positivamente las características de los morteros de cal con cargas de arena y polvo de mármol, haciendo la mezcla más plástica sin necesidad de añadir agua. Al fraguar, las muestras presentan mayor dureza y elasticidad, sin alterar la permeabilidad. Estos resultados se relacionan de manera estrecha con las proporciones manejadas. Los resultados al utilizar cargas de ladrillo no son tan satisfactorios, ya que aparentemente se alteran las propiedades de cohesión. Es importante tomar en cuenta que la adición de mucílago debe ser selectiva, de acuerdo con las cargas que se utilizan, pues no actúa de la misma manera con todos los materiales.

En el caso de la goma de nopal, el rendimiento en el proceso de desecación fue muy bajo; por esta razón se cree que no es sustentable en la consolidación de edificios de adobe, pues al requerir de una gran cantidad de material hace lento el proceso por el largo periodo de tiempo necesario para su hidratación. Además de lo difícil que resulta el proceso de filtración para purificarlo.

La investigación sobre los materiales orgánicos y su uso en restauración no ha cesado desde el momento en que se llevó a cabo esta experimentación. Desde entonces se han desarrollado otras investigaciones importantes sobre el tema, que contribuyen a la construcción del conocimiento acerca de estos materiales; la maestra Nora Pérez (2009) realizó una pro-

puesta para realizar morteros de inyección y utilizó mucílago de nopal para darle fluidez a la mezcla sin necesidad de agregar agua, mejorando a la vez sus propiedades físicas. En este trabajo se logró determinar una formulación estándar para la elaboración de morteros de inyección que utilizan este aditivo.

Por su parte, investigadores de la Universidad de Barcelona realizaron en 2011 una investigación sobre aditivos tradicionales orgánicos para morteros de cal utilizados en restauración y edificaciones de piedra; evaluaron la fuerza de compresión, resistencia a la humedad, velocidad de carbonatación, porosidad y textura, en el cual determinaron que el uso del mucílago de nopal mejora las propiedades del mortero (Ventola, 2011: 3313-3318).

Dos años después, la maestra Sandra Cruz desarrolló una investigación del mucílago de nopal como aditivo de las pastas de cal, en la que evalúa la fluidez de la pasta, su consistencia y manejabilidad, su adhesividad al soporte, contracción, carbonatación, capacidad y acabado. Se determinó que todas estas propiedades mejoraron con su uso (Cruz, 2013).

Gracias a la revaloración que han tenido recientemente la utilidad del nopal en diversos ámbitos, investigadores especializados en otras áreas han realizado el estudio de este material y evaluado sus propiedades: en 2010 investigadores del Instituto Politécnico Nacional (IPN, CIIDIR Oaxaca) logran sintetizar el mucílago en polvo e investigan el impacto que tiene el secado por método de atomización en sus características físicas, y su estabilidad ante la humedad y la temperatura. El estudio se complementa en 2011, cuando investigadores del IPN y la Facultad de Química de la UNAM estudian los efectos de las condiciones del secado por atomización de soluciones de mucílago reconstituidas sobre sus propiedades reológicas (León-Martínez, 2010: 864-870; León-Martínez, 2011: 439-445).

La comprensión de las técnicas y materiales empleados tradicionalmente en la elaboración de bienes culturales ha llevado a los especialistas a tratar de reproducir ciertas cualidades y

buscar nuevas aplicaciones para ellos. A partir de las observaciones realizadas en diversas investigaciones, se considera que existe una buena oportunidad para su aplicación en diferentes procesos de conservación y restauración; sin embargo, es importante continuar la investigación de los materiales de forma metodológica y sistematizada, a fin de obtener resultados fidedignos sobre sus propiedades y condiciones adecuadas de aplicación. La difusión de los resultados de tales investigaciones es fundamental para poder afirmar que las decisiones tomadas por el restaurador son adecuadas para la conservación de ese tipo de obras.

Agradecimientos

Las autoras agradecen la participación de los siguientes profesores y estudiantes del Seminario-Taller de Conservación de Pintura Mural: Mauricio Jiménez, Eduardo Padilla, Francisco Mederos, Jessica Lewinsky, Gabriela Mora, Rossana Sierra, Diego Ángeles, Iván Reynoso, Diego Quintero, Cristina Díaz, Gabriela Rodríguez, Ramiro Aceves, Sara Herrera, Rosa Ortiz y María Inés Vera. Asimismo, reconocen el valioso apoyo de Gabriel Severiano Torres, Proyecto La Ventilla, Teotihuacán; los departamentos de Ingeniería Civil y de Procesos Tecnológicos e Industriales, del ITESO, y del Departamento de Cactología del CUCBA de la Universidad de Guadalajara.

Bibliografía

Barbero, Carlos (coord.) (2006), Aportaciones teóricas y experimentales en problemas de conservación: Actas del II Seminario sobre Restauración de Bienes Culturales, Aguilar de Campoo, 19-21 de julio de 2006, Aguilar de Campoo Fundación Santa María Real, Centro de Estudios del Románico

Bucio, Erika (2008), “Restauran edificios con la baba de nopal”, *Reforma*, 6 de febrero, 2008, Cultura, p. 8.

Cano, Felipe y Carlos Gómez (s/a) “Uso del extracto del nopal en materiales basados en cemento”, conferencia en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN-Unidad Oaxaca.

Cárdenas, Adriana y F.M. Goycoolea (1998), “On the possible role of *Opuntia ficus-indica* mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings”, *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, núm. 3, pp. 64-71.

Casa ITESO Clavigero, “La restauración”, en línea [http://casaclavigero.iteso.mx/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=42], consultado en octubre de 2007.

Cruz, Sandra (2013), “El mucílago de nopal como aditivo de las pastas de cal”, en *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba, Isabel Villaseñor (eds.), México, UNAM, pp. 185-204.

Jáidar, Yareli (2006), “Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación”, tesis de licenciatura, ENCRyM-INAH, México, pp. 106-108.

León-Martínez, F.M., L.L. Méndez-Lagunas y J. Rodríguez-Ramírez (2010), “Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 81, núm. 4, 23 de julio, pp. 864-870.

León-Martínez, F.M., J. Rodríguez-Ramírez, L.L. Medina-Torres, L.L. Méndez Lagunas, M.J. Bernad-Bernad (2011), “Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*)”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, núm. 1, pp. 439-445.

Magaloni, Diana (2007), “Análisis de la técnica pictórica prehispánica: el templo rojo, Cacaxtla”, en línea [<http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/omnia/anteriores/20/07.pdf>], consultado en diciembre de 2007.

Oliva, Leonardo (1853), *Lecciones de farmacología dadas por el catedrático del ramo en la Universidad de Guadalajara*, vol. I, pp. 288-289, en línea [<http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/goToPage/bsb10289711.html?pageNo=288>], consultado en diciembre de 2007.

Pasquel, Antonio (2001), Gomas: una aproximación a la industria de alimentos, *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, vol. 1, núm. 1, pp. 1-8, en línea [<http://www.unapiquitos.edu.pe/links/facultades/alimentarias/v1/1.pdf>].

Pérez, Nora (2009), “Formulación de un mortero de inyección con mucílago de nopal para restauración de pintura mural”, tesis, ITESO, Tlaquepaque.

__(2007), “Elaboración y análisis de morteros” (práctica de laboratorio), Seminario- Taller de Pintura Mural I, ECRO (mecanoescrito).