

Evaluación de aglutinantes vegetales en pastas de caña de maíz para reintegración volumétrica de soportes leñosos

Valle Blasco-Pérez, Yazmin del Carmen Fraga Valero

Resumen: Esta investigación está enfocada al análisis de un conjunto de pastas elaboradas a partir de la médula de caña de maíz molida y aglutinada con dos productos de origen vegetal: el parénquima de nopal (chumbera) de la especie *Opuntia robusta* y el de la sábila o Aloe Vera de la especie *Aloe barbadensis*. La finalidad de las mezclas con diferentes combinaciones y proporciones de sus componentes es obtener una pasta que tenga las características adecuadas para su uso en la reintegración volumétrica de esculturas policromadas con soportes leñosos.

El análisis y comparativa de las probetas se ha llevado a cabo mediante la realización de pruebas que reflejan su comportamiento ante diferentes circunstancias y los factores de deterioro que inciden sobre ellas durante y después de su elaboración. Los resultados obtenidos muestran que las características y la degradación o alteración que presentan las hacen aptas en algunos casos para la restitución de faltantes de escultura policromada con soporte leñoso. La totalidad de la investigación ha sido desarrollada en México, donde la pasta de caña de maíz se ha utilizado frecuentemente como material escultórico, por tanto se trata de adecuar estos materiales tradicionales a la reintegración volumétrica cuando la compatibilidad lo permita, fomentando así el uso de materiales inocuos, accesibles y sostenibles.

Palabras clave: nopal, sábila, caña de maíz, escultura, reintegración volumétrica

Evaluation of vegetable binders in maize cane pasta for volumetric reintegration of wooden supports

Abstract: The present investigation is dedicated to the analysis of a set of pastas made from the marrow of ground maize cane and agglutinated with two products of vegetable origin: the cactus (chumbera) parenchyma of the species *Opuntia robusta* and the aloe (Aloe Vera) of the species *Aloe barbadensis*. The purpose of the mixtures with different combinations and proportions of their components, is to obtain a paste that has the suitable characteristics for its use in the volumetric reintegration of polychrome sculptures with woody supports and to promote the use of local, natural, non-polluting and sustainable products.

The analysis and comparison of the specimens was carried out by performing tests that reflect their behavior under different circumstances and the deterioration factors that affect them during and after preparation. The results obtained show if the characteristics and the degradation or alteration that they present make them suitable in some cases for the restoration of structural shortages in polychrome sculpture. All of the research has been developed in Mexico, where maize cane paste has been frequently used as a sculptural material, therefore it is about adapting these traditional materials to volumetric reintegration when compatibility allows it, promoting the use of harmless, accessible and sustainable materials.

Keywords: nopal, aloe, maize cane, sculpture, volumetric reintegration

Avaliação de aglutinantes vegetais em pastas de cana de milho para reintegração volumétrica de suportes lenhosos

Resumo: Esta investigação centra-se na análise de um conjunto de pastas feitas de medula de milho moída e aglutinada com dois produtos de origem vegetal: o parênquima de cacto de figo da pêra da espécie *Opuntia robusta* e o de aloe vera da espécie *Aloe barbadensis*. O objectivo das misturas com diferentes combinações e proporções dos seus componentes é obter uma pasta com as características adequadas para utilização na reintegração volumétrica de esculturas policromadas com suportes lenhosos.

A análise e comparação das peças dos provetes foi realizada através de ensaios que reflectem o seu comportamento em diferentes circunstâncias e os factores de deterioração que as afectam durante e após a sua elaboração. Os resultados obtidos mostram que as características e a degradação ou alteração que apresentam os tornam adequados em alguns casos para a restituição de suporte lenhoso em falta em escultura policromada. Toda a investigação foi realizada no México, onde a pasta de cana de milho tem sido frequentemente utilizada como material escultórico, pelo que o objectivo é adaptar estes materiais tradicionais à reintegração volumétrica quando a compatibilidade o permite, promovendo assim a utilização de materiais inócuos, acessíveis e sustentáveis.

Palavras-chave: nopal, aloé vera, cana de milho, escultura, reintegração volumétrica

Introducción

El estudio y evaluación de los materiales empleados en restauración son procesos imprescindibles e ineludibles, que deben realizarse sistemáticamente y mediante rigurosos protocolos a todos los productos factibles de ser aplicados sobre bienes culturales, con el fin de evitar incompatibilidades que pudieran derivar en el deterioro de las obras.

La restitución de faltantes, relleno de lagunas estructurales o reposición de soporte, son prácticas habituales en la restauración de esculturas para recuperar partes que se han perdido en la obra. Estas pérdidas suelen estar producidas por factores de origen antrópico, como golpes o actos vandálicos intencionados, o pueden deberse a la presencia de insectos xilófagos, puesto que muchas de las obras que se clasifican como escultura policromada se elaboran a partir de soportes de naturaleza leñosa (madera, fibras, caña de maíz, entre otros), productos vegetales que contienen los nutrientes adecuados para este tipo de insectos (Cruz et al. 2010).

De manera inadecuada en muchas intervenciones actuales se han empleado pastas de relleno con aglutinantes inapropiados que en algunos casos son poco compatibles con la obra. Por tanto, lo que el presente estudio trata de aportar es una propuesta nueva en la elaboración y aplicación de pastas de reintegración volumétrica, teniendo en cuenta los requisitos más importantes que deben cumplir: compatibilidad, estabilidad, inocuidad, buena adhesión y retratabilidad, utilizando para ello los mucílago de dos plantas de origen americano, pero presentes ya en la flora mundial: sábila (*Aloe barbadensis*) y nopal (*Opuntia robusta*).

El objetivo principal es proponer una alternativa más a la reintegración volumétrica en esculturas policromadas con soporte lúneo y en las que sea posible el uso de pastas acuosas elaboradas a partir de estos productos vegetales en su función de aglutinantes, en las que la carga principal sea la médula de caña de maíz molida.

También es un objetivo fundamental el poder identificar, mediante la ejecución de diferentes pruebas y análisis, cuál de las pastas elaboradas es más estable y apta según su comportamiento frente a factores de deterioro, para ser utilizada con esta finalidad. Para poder corroborar esto de manera adecuada y confirmar la idoneidad de los materiales que componen las pastas, es importante evaluar su comportamiento analizando sus características físicas y mecánicas en laboratorio y comprobando su degradación tras su exposición a la intemperie.

Con esta investigación se pretende, además, dar a conocer las propiedades y promover el uso de recursos naturales, fomentando así la necesaria tendencia actual que se dirige a hacer más sostenibles y respetuosas las intervenciones de restauración en bienes culturales.

Antecedentes

La reintegración volumétrica de escultura policromada es una acción dentro del campo de la restauración que ha sido poco estudiada o simplemente poco innovada, limitándose normalmente a la utilización de los procesos ya establecidos o derivando en el uso de resinas sintéticas que no siempre resultan adecuadas y compatibles con la naturaleza material de la obra (Ferrandis 2017).

Por la variada y difusa información existente es difícil relacionar el uso de pastas de reintegración con un tipo de obra o problemática específica. Por lo común están ligadas al aglutinante que se utiliza, y de esta manera podrían ser clasificados en dos grandes grupos: naturales y sintéticos (Pérez Jordà 2014). Los de origen natural son de mayor uso en el campo de la restauración de bienes muebles (Legorburu Escudero 1999) y entre estos los más utilizados tradicionalmente han sido las colas animales, ceras, gomas, resinas y aceites. Una pasta de reintegración volumétrica puede tener uno o más aglutinantes y estos ser mezclados con cargas de entre las cuales, las más comunes, han sido el carbonato o sulfato de calcio, pero también el serrín de madera, el papel molido, o las harinas, entre otras.

Está comprobado el uso de adhesivos tanto de origen vegetal como animal para la realización de objetos cotidianos desde períodos muy tempranos en la historia de la civilización, siendo hasta el año dos mil antes de nuestra era cuando esta práctica se hace común, como es el caso de los murales de la tumba de Rekhmara en Tebas, donde se ha comprobado la utilización de adhesivos de origen natural para la elaboración de los procesos pictóricos (Liesa y Bilurbina 1990).

Pero no es hasta la revolución industrial cuando aparecen los primeros polímeros y con ellos comienza la experimentación para elaborar pastas con adhesivos sintéticos, siendo las décadas de los 80's y 90's del siglo XX, cuando se empiezan a utilizar masillas a base de acrílicos, vinílicos, siliconas y resinas epoxídicas («Historia de los adhesivos, cronología y evolución de los adhesivos y pegamentos.», s. f.).

En la actualidad se opta por el análisis y experimentación con materiales y procesos de restauración que puedan

mejorar los existentes, y mediante los cuales se logre la estabilidad estructural y estética de las obras a largo plazo. Ejemplo de ello es la presente investigación con la que se pretende ampliar los usos que hasta el momento se le han dado al parénquima, mucílago o baba de las plantas de nopal (*Opuntia robusta*) y sábila (*Aloe barbadensis*), usados y experimentados actualmente como consolidantes, fijativos y aditivos en la elaboración de morteros y pinturas a la cal, aplicadas en construcción y procesos de restauración de inmuebles históricos (Torres Soria *et al.* 2015).

La investigación y práctica con estos aglutinantes vegetales, sobre todo con el nopal (*Opuntia robusta*), ha dado a conocer resultados comunes en los que se refiere al mejoramiento de las propiedades físicas de los morteros, pinturas a la cal y pinturas murales en general, en las que suelen emplearse como aditivos. Esto se debe a que ambas plantas tienen propiedades comunes como la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así como de modificar aspectos tales como textura, viscosidad y elasticidad, además de resultar buenos gelificantes, espesantes y emulsificantes (Pérez *et al.* 2015).

Su experimentación como aglutinantes en la elaboración de pastas para la restitución de faltantes de esculturas policromadas, puede dar como resultado el expandir sus usos en cuanto a la aplicación que se les ha dado hasta el momento, limitada a la intervención de bienes inmuebles.

Metodología

En el ámbito de la restauración de bienes culturales muebles, el comportamiento de los materiales aplicados en procesos de intervención siempre dará resultados diferentes y dependerá de una serie de factores que pueden o no controlarse. Algunos de los condicionantes que provocarán resultados diversos son: la naturaleza del material, calidad, proceso de obtención o elaboración, proporciones y forma de aplicación en la obra (Legorburu Escudero 1999).

Otro factor que hará reaccionar la pasta de caña de maíz es el medio en el que la obra se encuentra, pues no se produce el mismo comportamiento cuando el bien cultural se alberga en el interior de algún inmueble que cuando se encuentra situado a la intemperie, añadiendo a esto cada una de las variantes que tales circunstancias conllevan: humedad, temperatura, cambios climáticos, ventilación, iluminación, etc. (Blasco-Pérez 2015)

Por lo tanto, antes de emplear cualquier tipo de material en la restauración de un bien debe conocerse su comportamiento, es decir, cómo reacciona internamente ante sus propias características o propiedades y cómo lo hace en conjunto con el resto de los elementos que lo integran. [Figura 1]

Para conocer dicho comportamiento se ha procedido a la realización de 12 probetas de forma cilíndrica con una dimensión de 7 cm de diámetro por 4 cm de altura, con un

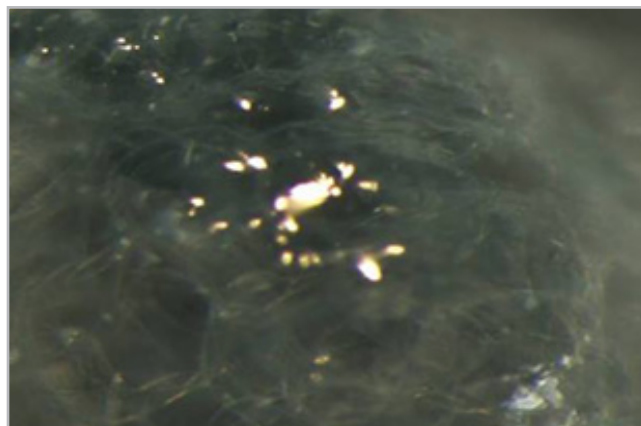


Figura 1.- Parénquima de la sábila (*Aloe barbadensis*) visto con microscopio estereoscópico a 8x. Se aprecia la forma hexagonal de las células (Elaboración propia 2017)

volumen total de 153,94 cm³, todas idénticas en tamaño para evitar añadir variables innecesarias.

A continuación se presenta un esquema de las variantes elegidas: aglutinantes, carga orgánica incorporada, carga inerte, fungicida (que permanece constante en todas las pruebas) y formas de extracción del aglutinante. [Figura 2] [Tabla 1]

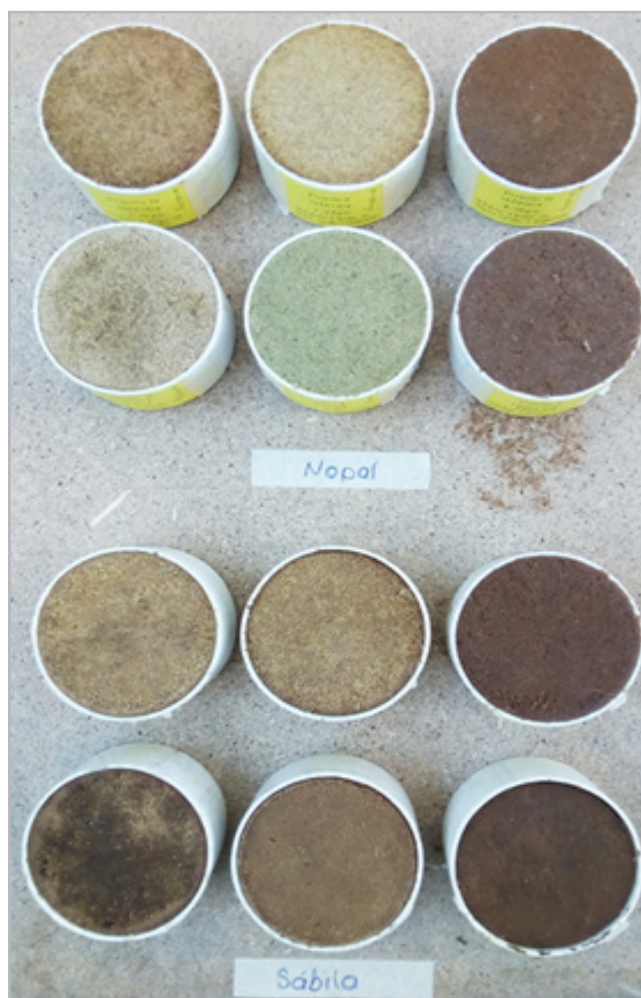


Figura 2.- Vista de las 12 probetas. Se aprecia la diferencia de color y textura según la fórmula empleada (Elaboración propia 2017)

Probeta	Cantidad y tipo de aglutinante	Carga orgánica (caña de maíz) / g	Carga inerte (carbonato de calcio) / g	Carga inerte (pigmento) / g	Fungicida (ácido acético al 3% en agua) / ml	Método de extracción del aglutinante
1	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	20	0	0	2	Rallado
2	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	5	0	2	Rallado
3	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	0	5	2	Rallado
4	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	20	0	0	2	Cocción
5	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	5	0	2	Cocción
6	150 ml Sábila (<i>Aloe barbadensis</i>)	15	0	5	2	Cocción
7	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	20	0	0	2	Rallado
8	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	5	0	2	Rallado
9	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	0	5	2	Rallado
10	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	20	0	0	2	Cocción
11	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	5	0	2	Cocción
12	150 ml Nopal (<i>Opuntia robusta</i>)	15	0	5	2	Cocción

Tabla 1.- Variables en las proporciones materiales para la elaboración de las probetas.

Durante y después de la elaboración de las probetas se ha llevado a cabo el análisis y la comparación entre sí de sus características, propiedades y comportamiento tras ser sometidas a diferentes pruebas para conocer su porosidad, absorción, pH, etc. Cabe aclarar que la metodología empleada comprende pruebas de comportamiento de carácter acumulativo.

Con el fin de evitar la aparición de microorganismos durante el secado de las pastas y etapas posteriores, fueron añadidas cantidades establecidas [Tabla 1] de ácido acético en una concentración del 3 % en agua. (Delhey *et al.* 2009)

En el momento de la elaboración, el parénquima fue incluido condicionado por el método de extracción: en el caso del rallado de las pencas, fue mezclado en frío; y con la extracción mediante cocción, el parénquima fue aplicado en caliente. Esto produjo, como se verá más adelante, una diferencia considerable en los resultados.

Al poseer las pastas distintas temperaturas, estas se midieron con un termómetro láser con el objetivo de determinar el comportamiento de las probetas

relacionando los resultados obtenidos con los dos procesos de extracción de los aglutinantes: en frío y caliente. Tras la extracción del parénquima en frío y caliente se realizaron las mezclas con las proporciones establecidas. Las pastas fueron aplicadas dentro de moldes de PVC hasta que secaron por completo y fueron retiradas. La intención en esta fase de la investigación es poder valorar la pasta en sí misma y determinar su comportamiento sin que se vea modificado o entre en interacción con ningún factor externo; por eso el uso de moldes de PVC que, debido a su naturaleza sintética, plástica e impermeable, permite la inalterabilidad del producto en evaluación.

Con una balanza digital la masa de cada probeta se registró diariamente, partiendo desde el día de su elaboración hasta conseguir el secado completo. De esta manera ha sido posible conocer la cantidad de agua que perdían diariamente, al igual que el lapso necesario para terminar el proceso de secado absoluto y la masa final de cada probeta. La temperatura promedio del espacio donde se albergaron las probetas durante su secado, ubicado en un interior, fue de 19,5 °C, con una humedad relativa (HR) del 67 %.

El pH, se midió en las pastas realizadas mediante la colocación de tiras indicadoras. Previo a la elaboración de las probetas fue registrado el pH de los productos utilizados puros: nopal, sábila y médula molida de caña de maíz, con el fin de poder analizar cómo cambia el nivel de pH al realizar las mezclas (Blasco-Pérez 2015). La medición se realizó inmediatamente después de su elaboración, es decir, cuando aún estaban frescas.

En el caso de la medición de capilaridad de las pastas se realizó la siguiente prueba: antes de comenzar se aplicó una capa impermeabilizante transparente en la superficie de cada una de las 12 probetas excepto en las caras que quedarían en contacto con el fondo del recipiente donde serían colocadas todas las probetas. Esto se hizo con el objetivo de limitar la absorción de agua solo a la zona en contacto con la superficie y evitar variaciones. Antes de ser acomodadas las probetas, fueron tomadas y registradas sus masas iniciales. Se añadieron 300 ml de agua purificada en la superficie del recipiente y durante un minuto se apreció la absorción de agua por los capilares de la cara donde no fue aplicado el impermeabilizante. Al término del lapso, las probetas se retiraron del agua y fueron pesadas nuevamente para conocer la cantidad de agua absorbida.

El análisis de absorción por inmersión se realizó sumergiendo en su totalidad las 12 probetas en un recipiente con agua purificada. Después de transcurrido un día en inmersión, se sacaron del agua, se colocaron en un papel secante e inmediatamente después se tomaron las masas con la balanza digital. Durante el segundo y tercer día, se repitió este proceso hasta comprobar que no había variaciones de masas, lo que indicaba que las probetas habían alcanzado el nivel máximo de absorción (Pérez Jordà 2014).

Posteriormente, las probetas fueron expuestas a la intemperie durante cinco meses estando en contacto directo con variaciones de temperatura, humedad relativa, viento, lluvia y sol. El periodo de exposición a los condicionantes atmosféricos, aunque en un principio pudiera parecer breve, se consideró suficiente para valorar los deterioros a corto plazo e intuir los posibles deterioros a largo, pues las consecuencias del intemperismo fueron analizadas y comparadas. Para medir la temperatura y la humedad a la que habían sido expuestas se utilizó un termohigrómetro que registraba las variaciones cada media hora. Para el resto de datos, como la velocidad del viento y las precipitaciones, se utilizó una aplicación para sistema Android versión 7.0.

Resultados

— Tipo de extracción del parénquima de las plantas

La temperatura mínima de aplicación del aglutinante fue de 23,3 °C en el caso de la probeta 9, y la máxima

temperatura fue de 44,4 °C en el caso de la probeta 12. La temperatura promedio de la aplicación del parénquima en las pastas fue: en frío 24,9 °C y en caliente 41,7 °C.

Con la extracción por rallado (frío) se logró un mayor aprovechamiento del parénquima, obteniendo hasta 500 ml. de una penca de nopal de la especie *Opuntia robusta*. De la penca de sábila, con una dimensión de 40 cm de largo y 7 cm de ancho de la especie *Aloe barbadensis*, se obtuvieron en promedio 90 ml.

Al mezclar las pastas, la adhesión con la médula de caña de maíz fue satisfactoria. La viscosidad de la sustancia permite crear una masa trabajable hasta dos días después de haber sido elaborada, ya que mantiene la adhesión necesaria para manipularla sin que se desintegre. Cuando el parénquima está en estado natural, mantiene su viscosidad y alta adhesión por lo que al combinarlo con la médula de caña es fácil obtener una mezcla homogénea de manera sencilla y rápida.

Mediante la extracción por cocción (caliente) el rendimiento es menor y el proceso es más lento debido a que se necesitan prolongados periodos de cocimiento de la penca (hasta 4 o 5 horas) para que el parénquima se desprenda por completo de la piel. Otro aspecto que se modifica durante el proceso de cocción es el color, debido a que se produce la oxidación de la sustancia por el calor. También disminuye la viscosidad y aumenta el contenido de agua, influyendo considerablemente en su poder adherente. Al elaborar las pastas con aglutinante caliente, es difícil cohesionar el parénquima con la caña de maíz y conseguir que la mezcla resulte homogénea, ya que estas se tornan granuladas y pulverulentas. Si la mezcla es manipulada en los días posteriores a su elaboración, previamente al secado, se desintegra debido a que no tiene la adhesión necesaria. Esto se produce porque al calentar las pencas de ambas plantas, cambia su composición química produciendo daños en las membranas celulares, las cuales desempeñan un papel clave en la estructura de los tejidos del parénquima. Por tanto, para la elaboración de las pastas, se plantea como mejor opción utilizar la extracción mediante rallado en frío.

— Análisis de modelado

La facilidad para modelar la pasta está directamente relacionada con la extracción del parénquima; aquellas probetas realizadas con el aglutinante frío mantuvieron la viscosidad y adhesividad necesaria para unirse correctamente con la médula de caña y manipularse con facilidad, ya sea para crear alguna forma o introducirse en un molde.

Los primeros días después de la elaboración de las pastas es posible volver a modelarlas o moldearlas, consiguiendo realizar con ellas cualquier volumen sin que lleguen a

desintegrarse, debido a que el aglutinante pierde agua y muy poco poder de adhesión.

En los casos en los que fue utilizado el parénquima extraído por cocción se redujo la maleabilidad de la pasta, pues al manipularla se pulverizaba y perdía agua que se quedaba en el área en la que era trabajada. Posiblemente el motivo de esto es la aportación extra y no mensurable de agua al incluirse líquido durante el proceso de cocción de la penca.

— Análisis del proceso de secado

La masa inicial de las pastas elaboradas tenía un valor entre 150 y 160 g, y al finalizar el proceso de secado llegaron a solo 19 g, es decir, perdieron en promedio cerca de 133.1 g, lo que representa el 87% de su masa inicial, que realmente corresponde al contenido de agua de la pasta.

Las probetas terminaron la mayor parte de su proceso de secado entre 23 y 32 días. Sin embargo, durante los primeros días del segundo mes posterior a su elaboración continuaron perdiendo agua en mínimas cantidades, entre 0,2 y 0,1 g diarios [Tabla 2]. Este fenómeno probablemente sea debido a la presencia y secado del líquido contenido naturalmente en la médula de caña de maíz.

Probeta	Tiempo de secado / días	Masa inicial / g	Masa final / g	Masa perdida / g	Pérdida de masa / %
1	24	151,0	19,3	131,7	87,2
2	24	154,6	19,5	135,1	87,3
3	24	151,6	19,1	132,5	87,4
4	28	149,9	19,9	130,0	86,7
5	24	153,6	19,5	134,1	87,3
6	28	159,5	19,9	139,6	87,5
7	32	142,6	19,8	122,8	86,1
8	31	148,0	19,4	128,6	86,8
9	23	144,3	10,8	124,5	86,2
10	28	156,9	19,9	137,0	87,3
11	24	158,6	19,8	138,8	87,5
12	29	162,7	19,9	142,8	87,7

Tabla 2.- Resultado de la pérdida de peso masa durante el proceso de secado.

— pH

Antes de realizar las mezclas, se midió el pH de los materiales utilizados para su elaboración, partiendo de un pH ligeramente ácido, ya que la sustancia parenquimática

de la planta de sábila (*Aloe barbadensis*) y nopal (*Opuntia robusta*) tienen ambas un pH de 5 y la médula de caña de maíz un pH de 7. [Figura 3]

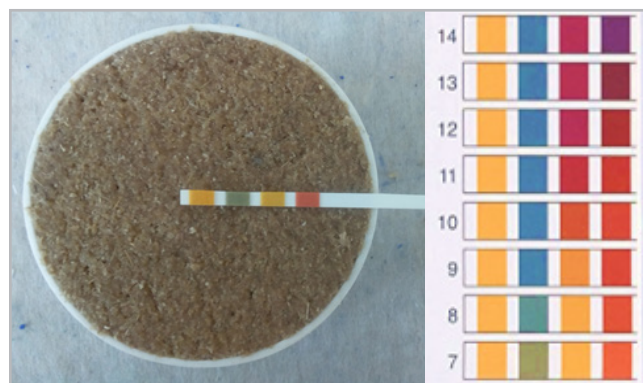


Figura 3.- Medición del pH en probeta número 1 con resultado 7,5 (Elaboración propia 2017)

Las 12 probetas en general alcanzaron un pH de entre 6 y 8, lo que indica que se mantienen aproximadamente dentro de rangos neutros que tienden a ser ligeramente ácidos o levemente alcalinos. Las pastas elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) resultaron levemente más ácidas con unos pH de entre 6 y 7, mientras que las de sábila (*Aloe barbadensis*) se mantuvieron con un pH de entre 7 y 8, lo que indica que, en cualquiera de los dos casos, el pH de la mezcla de los productos es adecuado para su aplicación en bienes culturales.

— Capilaridad

La absorción de las pastas fue elevada, en promedio 0,70 ml/g de líquido en un minuto (tabla 3), abarcando la mitad de su volumen y altura total. Esto indica que el diámetro de los capilares es pequeño lo que provoca su rápida absorción.

En la mayoría de las probetas se apreció un nivel homogéneo alcanzado por el agua, debido a que la naturaleza de los componentes es semejante en todos los casos, la carga de polvo de médula de caña de maíz tiene una textura fina, lo que ocasionó que el agua fluyera hacia arriba más allá de lo que podría hacer el líquido en el caso de probetas con componentes más gruesos, es decir probetas en las que la médula y los parénquimas no fueron tamizados y colados de manera adecuada durante la elaboración de las pastas.

En las probetas en las que se utilizó el parénquima obtenido mediante cocción, se apreció una ascensión del agua un poco desigual lo que indica que en estas mezclas los componentes de las pastas tienen partículas de diferentes tamaños que han influido en aspectos como la cohesión, ya que las zonas de las probetas donde el agua subió heterogéneamente tendían a pulverizarse y desprenderse en pequeños fragmentos. [Tabla 3]

Probeta	Masa inicial / g	Mas tras 1 minuto / g	Agua absorbida / ml	Índice de absorción por minuto / ml*g ⁻¹
1	17,9	30,7	12,8	0,71
2	19,5	31,9	12,4	0,63
3	18,8	24,1	5,30	0,28
4	19,0	42,0	23,0	1,20
5	19,0	36,7	17,7	0,93
6	19,3	36,8	17,5	0,90
7	19,8	29,4	9,60	0,48
8	18,9	24,2	5,30	0,28
9	16,9	28,0	11,1	0,65
10	18,9	36,2	17,3	0,08
11	18,2	38,6	20,4	1,12
12	19,5	43,5	24,0	1,23

Tabla 3.- Resultado de la absorción por capilaridad

— Absorción por inmersión

La inmersión de las probetas de nopal (*Opuntia robusta*) fue ligeramente más rápida, posiblemente debido a que era un poco mayor la masa de dichas pastas que contribuyen a romper de manera más rápida la tensión superficial del agua en donde fueron sumergidas.

En la inmersión de las probetas, se logró apreciar que las elaboradas con parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) producían mayor cantidad de burbujas de aire que salían del interior, indicando una mayor porosidad que las hace más ligeras y más lentas para romper la tensión superficial del líquido y sumergirse.

Cuando las pastas eran sacadas del agua quedaban algunas partículas en el líquido, y en estos casos las probetas elaboradas con parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) obtenido por cocción fueron las que dejaron mayor cantidad de pasta pulverizada al humedecerse, indicando que existe una mejor cohesión en las mezclas con nopal (*Opuntia robusta*) y parénquimas extraídos por rallado.

— Exposición a la intemperie

Durante el tiempo de exposición de las probetas a factores ambientales (viento, humedad, temperatura, lluvia, etc.) los resultados fueron positivos para todas las pastas debido a que no se produjeron fragmentaciones por la pérdida de cohesión y las disgregaciones en las zonas aristadas que se presentaron fueron mínimas, lo que indica que la adhesión de los aglutinantes empleados con la médula de caña es buena.

Las probetas elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) tuvieron menor resistencia al ser sometidas a estos factores de deterioro, pues transcurridos 15 días comenzaron a perder volumen, deformarse y agrietarse, a causa de la posible deshidratación de las partículas del aglutinante y debido a que el contenido de agua es mayor en el nopal (*Opuntia robusta*) que en la sábila (*Aloe barbadensis*), siendo este más susceptible a la degradación por la exposición directa al sol.

Las pastas con aglutinante de sábila (*Aloe barbadensis*) mantuvieron el volumen, la forma inicial y tampoco se agrietaron, sin embargo, en aquellas en las que se incluyó el carbonato de calcio como aditivo adicional se apreció una migración de color blanco hacia la parte inferior, consecuencia posible de la humedad y elevada porosidad de la pasta. [Figura 4]

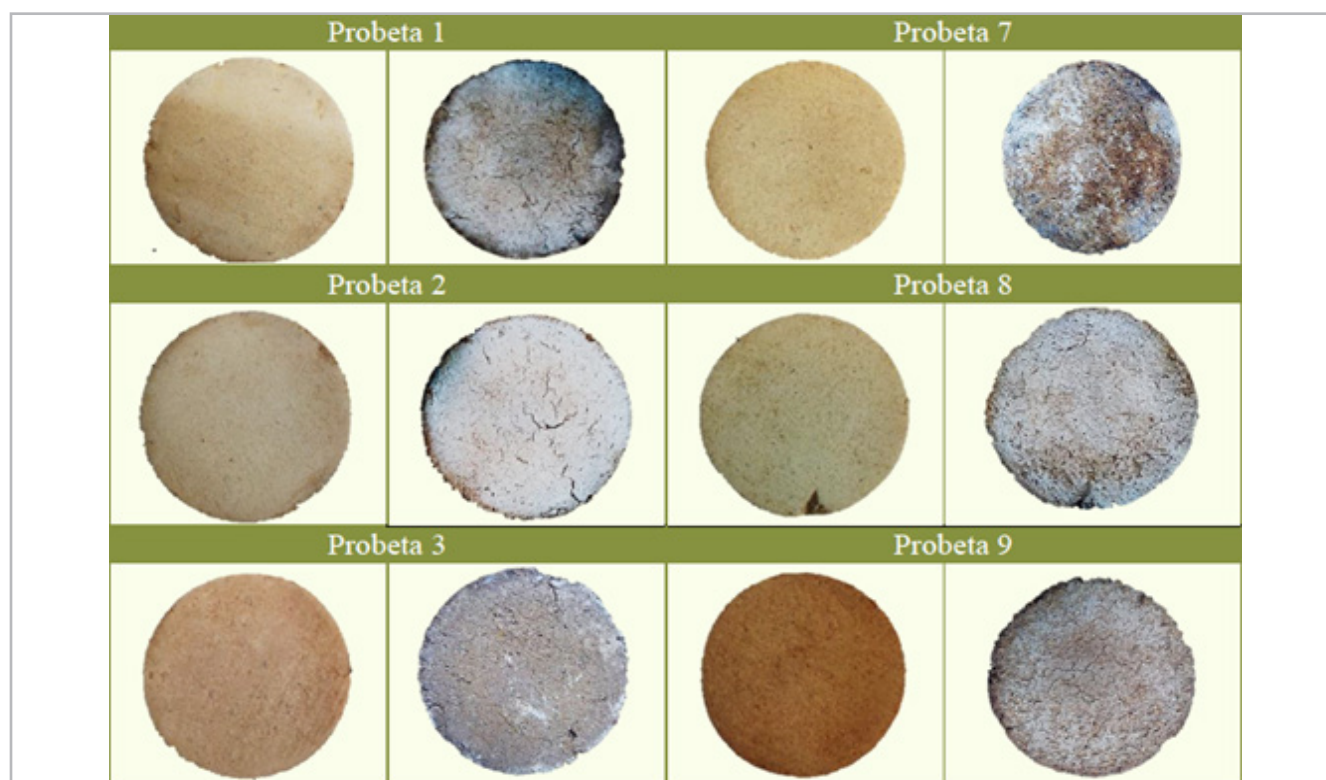




Figura 4.- Comparación de las 12 probetas antes y después del proceso de envejecimiento por intemperismo (Elaboración propia 2017)

— Deterioro biológico

La presencia en las mezclas de ácido acético para evitar la aparición de *Sclerotinia sclerotioru*, el hongo más común en este tipo de preparaciones por las características de los componentes, (Delhey *et al.* 2009) u otro tipo de microorganismos, tuvo un resultado satisfactorio en la totalidad de las probetas sin importar el tipo de parénquima utilizado.

Discusión

En definitiva, las pastas resultantes de la combinación de la médula molida de caña de maíz con los aglutinantes vegetales extraídos de la especie *Opuntia robusta* y de la especie *Aloe barbadensis*, han brindado resultados satisfactorios.

El parénquima de ambas plantas obtenido mediante rallado (frío), tiene la viscosidad necesaria para crear una pasta con buena adhesión, y es estable frente a factores de envejecimiento. Presentó también la maleabilidad suficiente para poder obtener formas volumétricas mediante modelado o ser aplicada a un molde y poder ser desmoldada sin complicaciones y sin deformaciones tras el secado. [Figura 5]

El proceso de secado es paulatino y constante, lo que permite seguir trabajando las pastas de dos a tres días después de su elaboración, siendo esta una ventaja para



Figura 5.- Amasado de la pasta. Se observa la maleabilidad, la textura, la facilidad de modelado (Elaboración propia 2017)

el restaurador en el caso de que se presente la necesidad de realizar modificaciones o correcciones en el modelado o en casos en los que el proceso se dilate por tratarse de reintegraciones volumétricas de grandes dimensiones. En el caso de realizar reposiciones de faltantes de grandes dimensiones, por las características que las pastas han demostrado tener, podrían elaborarse mediante moldes con el fin de poder reproducir motivos seriados (ej. relieves o molduras en retablos dorados).

Otra de las ventajas es que no presentan contracciones o agrietamientos derivados del secado rápido como suele pasar en ocasiones con la aplicación de algunas pastas a base de cola animal o con aglutinantes sintéticos.

Con la medición de pH fue importante saber que las pastas elaboradas entran en rangos neutros de entre 6 y 8. Al realizar cualquier proceso de intervención, no sólo de esculturas sino de bienes muebles en general, se debe siempre evitar la aplicación de materiales que puedan aumentar drásticamente la acidez o basicidad de la obra, debido a que ambos extremos suelen ser factores de deterioro que pueden generar futuros daños. Comúnmente en el ámbito de restauración se da preferencia a la utilización de productos o materiales con pH neutro. Eso convierte a las mezclas elaboradas en productos aptos para su aplicación sobre obra artística.

Otra característica de las pastas fue su alta absorción, lo cual supone una desventaja en casos en los que la obra a reintegrar volumétricamente se encuentre en espacios con HR alta o al exterior. Sin embargo, se comprobó que los capilares de las pastas son pequeños y sus poros se encuentran interconectados, lo que favorece que el líquido absorbido no permanezca atrapado, por el contrario, facilite su circulación rápida en el interior de la masa entre los poros hasta salir nuevamente al exterior. [Figura 6]

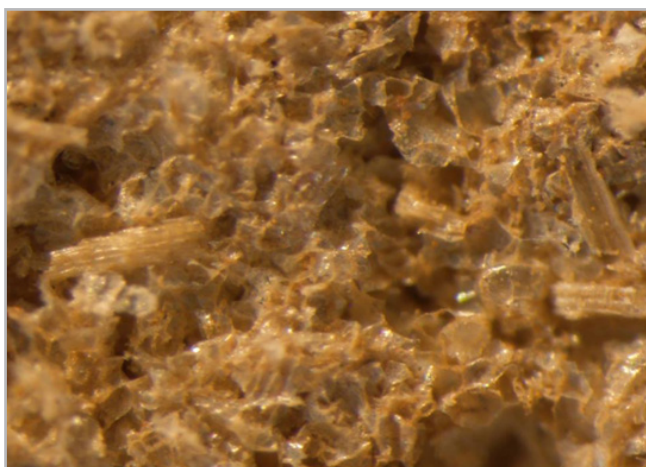


Figura 6.- Pasta vista al microscopio estereoscópico a 8x. Se ve la forma de las células del parénquima mezclado con la caña de maíz molida (Elaboración propia 2017)

A diferencia de la madera que es afectada de diferente forma según la dirección de sus fibras, las pastas creadas con médula de caña de maíz molida tienen comportamientos isotropos, es decir, mantienen su forma en presencia de humedad debido a que los materiales constitutivos se encuentran en pequeñas partículas con variadas direcciones por lo que su comportamiento no depende de estos condicionantes.

Aunque las pastas mostraron buen comportamiento al ser sometidas a la intemperie, se determinó que las probetas

elaboradas con parénquima de nopal (*Opuntia robusta*) no soportaron correctamente los diferentes cambios de humedad, viento y temperatura. Las pastas elaboradas con sábila (*Aloe barbadensis*), por el contrario, resistieron altas y bajas temperaturas (entre 33 °C de máxima y 5 °C de mínima), sol, viento directo y cambios constantes de HR, (entre 19 y 94 %, con cambios bruscos de ± 40 % en 5 horas) presentando mínimos agrietamientos y cambios de color, además de muy poca retracción por secado en comparación a lo ocurrido con las pastas elaboradas con nopal (*Opuntia robusta*), lo que indica que sólo las elaboradas con aglutinante extraído del parénquima de sábila (*Aloe barbadensis*) podrían llegar a ser utilizadas para la reintegración volumétrica de esculturas albergadas al exterior.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos hasta el momento, se puede proponer la elaboración de una pasta para reintegración volumétrica de esculturas policromadas a base de médula molida de caña de maíz como carga orgánica y el parénquima de sábila de la especie *Aloe barbadensis* obtenido mediante rallado como aglutinante, a las que además puede añadirse el Carbonato de Calcio como carga inerte adicional con la función de dar cuerpo a la mezcla y favorecer la adhesión de los componentes y ácido acético como aditivo con la función de fungicida.

De manera general y a modo de síntesis, las propiedades y características de estas pastas son: ligereza, buena adhesión y cohesión, pH neutro, maleabilidad, secado uniforme y paulatino, alta absorción, circulación fluida de la humedad, nula contracción, buen comportamiento ante los agentes atmosféricos del exterior, gran estabilidad al interior, nula toxicidad, resistencia a la presión de hasta seis veces su peso, además de que los materiales compositivos son completamente naturales y pueden ser obtenidos con facilidad debido a su presencia en abundancia en la flora de casi todo el mundo.

Pero de todas las probetas realizadas y con todas sus variantes compositivas, una de ellas resultó tener unas características ideales para el uso propuesto y mostró un comportamiento más estable que las demás ante las pruebas realizadas. Su composición y procedimiento de realización fue: como carga la médula seca y molida de caña de maíz, como aglutinante el parénquima de *Aloe barbadensis* extraído mediante rallado y como fungicida una pequeña porción de ácido acético al 3 %. Esta mezcla, a diferencia del resto, mantuvo mejor cohesión y menor degradación ante la manipulación y agentes de deterioro a los que se expuso, manteniendo su estabilidad física y química, su cohesión, su color original y su forma.

Aún queda mucho trabajo por realizar, varias líneas de investigación se abren a partir de esta, como por ejemplo la comparación mecánica de nuestras pastas con los

más comunes sistemas de reintegración volumétrica empleados en escultura, muchos de ellos sintéticos (resinas epoxídicas, masillas de aglutinantes a base de polímeros termoestables o termoplásticos, etc.); el contraste de los aglutinantes evaluados en esta investigación con otros también tradicionales como serían las colas de origen animal y naturaleza proteica, o la aplicación y evaluación del comportamiento del producto en diferentes piezas de obras reales que a priori resulten adecuadas para ser reintegradas con estas pastas. Es por ello que seguimos indagando, elaborando pruebas y análisis que permitan conocer más aspectos relacionados con esta investigación, y actualmente se continúa analizando la adhesividad que la pasta mantiene al contacto con superficies de madera y su comportamiento al ser aplicada sobre alguna base de preparación.

Existen muchas posibilidades pensadas sobre su versatilidad y actualmente algunas de ellas en proceso de análisis, como la factibilidad de pigmentarla o añadirle colorantes de origen natural, o poder elaborar moldes para el vaciado de ciertos materiales; quizás también pueda aplicarse para sustituir objetos hechos con madera, corcho o materiales sintéticos (como el poliestireno expandido o espuma de poliuretano), lo que aumenta sus usos más allá del campo artístico, pudiendo considerar su utilización en ramos industriales o de construcción gracias al elevado peso que una pequeña y ligera cantidad de pasta puede soportar.

Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento son solo un indicio que permite reconocer la viabilidad y las propiedades adecuadas que la médula de caña, junto a los aglutinantes vegetales, posee para ser utilizada en la reintegración volumétrica de esculturas policromadas.

En definitiva, consideramos que esta investigación contribuye a enriquecer los estudios relativos a la conservación del patrimonio y supone una aportación que respalda y confirma la posibilidad de uso de unos materiales tradicionales, económicos, inocuos y de nulo impacto ambiental, que garanticen la sostenibilidad de los tratamientos de restauración.

Referencias

- ACADÉMIE D'ORLÉANS (2001). *Duhamel du Monceau: 1700-2000: un européen du Siècle des Lumières*. Orléans: Académie d'Orléans.
- BLASCO-PÉREZ, V. (2015). *Nace, crece y envejece. La imaginaria Novohispana de caña de maíz. Una aproximación al comportamiento del material*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- CRUZ CHAGOYÁN, GABRIELA, OLIVERA CORONEL, LILIA PATRICIA, & VELASCO FIGUEROA, IRAIS (2010). Los soportes de madera en esculturas policromadas mexicanas, restauradas en la ENCRyM. *Intervención* (México DF), 1(2), 34-45. Recuperado en 27 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2010000200006&lng=es&tlng=.
- DELHEY, R., KIEHR, M., ALLIEVI, M. I., LUSTO, J., FRAYSSINET, S., SIDOTI HARTMANN, B., ... SERVERA, A. (2009). "Sclerotinia sclerotiorum en plantas cultivadas e invasoras del sur pampeano y norte patagónico, Argentina", *Phyton* (Buenos Aires), 78 (2): 111-115.
- FERRANDIS PINAZO, A. (2017). Nuevas masillas de relleno para reintegración volumétrica de escultura ligera en cartapesta y papelón. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/89382>
- Historia de los adhesivos, cronología y evolución de los adhesivos y pegamentos. (s. f.). <https://www.losadhesivos.com/historia-de-los-adhesivos.html> [consulta: 20/12/2017].
- LEGORBURU ESCUDERO, M. P. (1999). "Estucos o materiales de relleno". *Restauración & rehabilitación*, 28: 68-73.
- LIESA, F., & BILURBINA, L. (1990). *Adhesivos industriales*. Barcelona: Marcombo.
- PÉREZ JORDÀ, Z. P. (2014). *Masillas de relleno para la reintegración volumétrica de escultura lúnea*. Nuevas propuestas. Valencia: Universidad Politècnica de Valencia.
- PÉREZ, N. A., CHARUA, D., & FERNÁNDEZ, S. (2015). Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. *Estudios sobre conservación, restauración y museología*, 2 (0). <https://www.revistas.inah.gob.mx/index.php/estudiosconservacion/article/view/5473> [consulta: 21/6/2018].
- TORRES SORIA, P., CRUZ FLORES, S., PEÑA PELAÉZ, N. C., FERNÁNDEZ MENDIOLA, S. E., RODRÍGUEZ IBARRA, M. A., & CRUZ BECERRIL, A. (2015). "La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra". *Antropología. Boletín Oficial del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 0 (99): 92-114.

Autor/es



Valle Blasco-Pérez

valblape@crbc.upv.es

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0001-9500-3156>

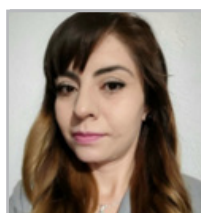
Doctora en Ciencia y Restauración del Patrimonio Histórico-Artístico (UPV). (2015) Tesis doctoral: Nace, crece y envejece. La imaginaria Novohispana de caña de maíz: una aproximación al comportamiento del material. Sobresaliente Cum Laude. Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (UPV). (2007-2008). Licenciada en Bellas Artes (Universitat Politècnica de València) con especialidad en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. (2002-2007).

Licenciada en Historia del Arte (Universitat de València) (1995-2000). Beca MAE-AECID (2008-2009) en la Real Academia de España en Roma. (2008-2009). Premio INAH "Paul Coremans" a la mejor tesis doctoral (2016). Profesora-investigadora de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. (2012-2019). Profesora Contratada Doctora en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Universitat Politècnica de València, España. (2019-actualidad). Líneas de investigación: Escultura Policromada, Comportamiento de los materiales en escultura ligera, escultura con caña de maíz, Patrimonio Rural, Proyectos de dinamización del patrimonio rural, etc.

Artículo enviado 01/02/2021
Artículo aceptado el 12/07/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.954>



Yazmin del Carmen Fraga Valero
casafragarestauraciones@gmail.com
Licenciada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Muebles por la UASLP

Egresada de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Obtiene en 2018 el título de licenciada en Restauración de Bienes Culturales Muebles mediante la tesis de investigación *Evaluación y aplicación de pasta de caña con aglutinantes autóctonos en procesos de restauración de escultura policromada*. Durante su formación académica participa en diferentes cursos, encuentros y congresos referentes a gestión, investigación y difusión del patrimonio cultural del estado de San Luis Potosí. Consigue obtener durante cinco años consecutivos la mención de Excelencia Académica, galardón que la Universidad otorga a alumnos con desempeño sobresaliente. En 2018 forma parte del Sexto Encuentro de Jóvenes Investigadores en el Estado con el tema de investigación *Evaluación y aplicación de aglutinantes autóctonos en procesos de restauración de escultura policromada*, obteniendo el primer lugar a nivel universitario público-privado y la oportunidad de asistir al Quinto Congreso Interinstitucional de Jóvenes Investigadores a nivel nacional. Ha colaborado en proyectos de investigación y restauración para el patrimonio cultural del estado. También ha participado en el análisis y registro gráfico de bienes muebles e inmuebles del Templo del Carmen, Panteón del Saucito y Panteón de Real de Catorce espacios ubicados en San Luis Potosí. Actualmente realiza intervenciones en bienes muebles de índole particular, además de investigaciones y experimentación de materiales naturales viables como alternativas para utilizar en procesos de restauración con los cuales puedan obtenerse mejores resultados en la compatibilidad química de materiales, mejorar apariencia estructural y estética, disminuir costos y la exposición del restaurador a materiales sintéticos, tóxicos o dañinos por el periodo prolongado de exposición.