

Pablo Torres Soria, Sandra Cruz Flores,  
Norma Cristina Peña Peláez, Sara Eugenia Fernández Mendiola,  
Moisés Adrián Rodríguez Ibarra, Alfonso Cruz Becerril

## ANTROPOLOGÍA

*Resumen:* La presente investigación determinó que la baba y el mucílago de nopal son dos sustancias diferentes. La dilución de ambas, en porcentajes específicos y aplicados por aspersión, estabilizan la superficie deleznable de los adobes y la tierra, lo que se comprobó en el área de experimentación en el relleno en las plataformas de la zona arqueológica de Teotihuacan.

*Palabras clave:* arquitectura de tierra, patrimonio cultural, restauración y conservación, mucílago de nopal.

*Abstract:* This research determined that the slimy fluid and mucilage of the prickly pear are two different substances. Both the dilution of the prickly pear liquid and the mucilage, in specific percentages applied by aspersion, stabilize the crumbly surface of adobe and earth surfaces, which was tested in the experimental area in the fill of platforms in the archaeological zone of Teotihuacan.

*Keywords:* earth architecture, cultural patrimony, restoration and conservation, prickly pear mucilage.



# La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra

**E**l interés de probar la baba y el mucílago de nopal en acabados arquitectónicos de tierra se generó a partir de dos aspectos: 1) debido a que existen antecedentes de que son muy vulnerables al deterioro por acción del intemperismo; 2) derivado de que los restauradores, arqueólogos y arquitectos aplican la baba y mucílago en sitios y zonas arqueológicas, así como en monumentos históricos, por lo que definir las características diferenciales y efectividad de uno y otro producto resulta de gran utilidad para orientar su uso en conservación de patrimonio cultural.

## El patrimonio cultural edificado con tierra

La presente investigación se basa en la problemática de los acabados arquitectónicos que requieren una pronta atención, debido a que son muy vulnerables al deterioro por intemperismo. Los materiales de tierra están representados en muchos elementos arquitectónicos de zonas arqueológicas y monumentos virreinales. En el primer caso, el uso de la tierra es evidente en plataformas, rellenos, núcleos de estructuras, muros, barro de las juntas de materiales de construcción y en elementos de acabados tales como aplanchados, enlucidos, pisos, enmarcamientos de vanos, soporte de pinturas murales, relieves e incluso esculturas adosadas.

Existen ejemplos del patrimonio prehispánico edificado con tierra a lo largo de todo el país. Entre ellos podemos destacar los casos de la ciudad norteña de Paquimé, Chihuahua; la tradición arquitectónica de casas en acantilado que abarca grandes porciones serranas en Chihuahua (Las 40 Casas, el Conjunto Huápoca, La Cueva Grande, La Ranchería), Sonora (las Cuevas de Ochoa I y II); La Quemada y Las Ventanas en Zacatecas; sitios en el estado de Jalisco como Los Guachimontones y el Palacio de Ocomo; en Nayarit: Ixtlán del Río o Toriles; Cañada de la Virgen en Guanajuato, varias etapas constructivas en

zonas arqueológicas del Altiplano Central, tales como Cuicuilco, Cerro del Tepalcate, Teotihuacán, Teotenango, Tula, Cacaxtla, La Gran Pirámide en Cholula; los sitios arqueológicos Zethé y Sabina Grande en Hidalgo; Mitla, y ciudades mayas como Izapa, en Chiapas.

Entre el patrimonio virreinal, la arquitectura de tierra fue utilizada tanto en la edificación de construcciones de uso militar como religioso y civil; por ejemplo, los centros históricos de Pátzcuaro, San Cristóbal de las Casas y Durango, construidos con tierra en los siglos XVII y XVIII.

También cabe mencionar que un gran porcentaje de las misiones en el norte del país fueron edificadas con tierra; por ejemplo, la misión de Cocóspera en Sonora. Asimismo, se utilizó ese material en gran parte de la arquitectura tradicional o vernácula que aún se conserva en pequeñas y grandes poblaciones en áreas urbanas y rurales en casi todo el país.

La arquitectura de tierra merece atención inmediata debido a las constantes alteraciones y deterioros relacionados con la estabilidad estructural; por tal motivo se realizaron pruebas experimentales de laboratorio y campo con baba y mucílago en muestras representativas de tierra, adobes del cajón de relleno de la plataforma exterior oriente y barro de las juntas del mampuesto de la pirámide del Sol, en la zona arqueológica de Teotihuacán.

Antes de entrar al tema es necesario tener claridad sobre las definiciones de baba y mucílago, debido a que en el campo de la restauración y conservación del patrimonio cultural es común hablar de ambos conceptos indistintamente; sin embargo, no es lo mismo y existen diferencias de origen y composición química. La baba se extrae del nopal verdura o brotes tiernos, rico en parénquima clorofílico y químicamente es un hidrocoloide, cuya sustancia es parecida a gelatina dispersa en agua. El mucílago tiene su origen en la médula central de tallos y cladodios maduros o gruesos con más de tres años de crecimiento; botánicamente es un tejido vegetal, blanco, esponjoso, viscoso, sustancia densa, pegajosa y químicamente es rico en polisacáridos.

#### Alteraciones y deterioros en el patrimonio cultural de tierra

La arquitectura de tierra es afectada por diversos agentes de deterioro, tales como la lluvia, el viento, granizo, ne-

vadas, inundaciones, las sales aportadas por la lluvia, corrientes pluviales superficiales, los vientos saturados de humedad y las sales existentes en el subsuelo, entre otros.

El impacto de dichos factores sobre la arquitectura de tierra produce alteraciones o cambios físicos y químicos evidenciados por un deterioro representado por pérdida de cohesión, grietas, fisuras, exfoliación y disgregación superficial, lo cual afecta directamente la estabilidad estructural de los materiales de tierra, como adobes, juntas de barro, aplanados de barro y tierra de relleno de basamentos piramidales.

Los restauradores del INAH están interesados en resolver dicha problemática, para lo que han aplicado baba y mucílago obtenido de nopal verdulero comercializado de manera muy amplia.

#### Antecedentes del uso de baba de nopal en la conservación del patrimonio cultural

La baba de nopal es utilizada en la elaboración de pintura ecológica;<sup>1</sup> en el INAH, restauradores, arqueólogos y arquitectos aplican de manera reciente baba de nopal como impermeabilizante de muros y techumbres en zonas arqueológicas y monumentos históricos en Chichen-Itzá;<sup>2</sup> en el convento de Natividad de María, Tepoztlán, Morelos;<sup>3</sup> o en monumentos históricos del Centro Histórico de Villahermosa, Tabasco.<sup>4</sup> La Secretaría del Medio Ambiente recomienda la baba del nopal como impermeabilizante natural de muros y techumbres de monumentos históricos.<sup>5</sup>

En algunas zonas arqueológicas los restauradores han aplicado baba de nopal como aditivo en morteros nuevos y como fijativo superficial de morteros y tierra deleznable. Lamentablemente, en la mayoría de los casos no se ha reportado de manera explícita su uso, o bien

<sup>1</sup> "Pintura a la cal", en *Revista Profeco*, núm. 347, enero 2006.

<sup>2</sup> "Convento de Natividad de María, Tepoztlán, Morelos", en *El Universal*, México, 10 de noviembre de 2011.

<sup>3</sup> "Monumentos históricos del Centro Histórico de Villahermosa, Tabasco", en *Milenio*, México, 12 de junio de 2013.

<sup>4</sup> "Restauración de los inmuebles del centro con baba de nopal", en *Tabasco Hoy*, Villahermosa, 15 de marzo de 2011.

<sup>5</sup> "Impermeabilización natural con baba de nopal", Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, 12 de febrero de 2014.

se menciona de forma muy general en los informes de trabajo de campo, sin contemplar especificaciones técnicas del diagnóstico del estado de conservación de los materiales, la especie de nopal recolectada, la preparación, los métodos de aplicación y los alcances logrados en los materiales donde ha sido usado como fijativo. Algunos restauradores comentaron personalmente sobre buenos resultados obtenidos en Chihuahua, por ejemplo Paquimé, Las 40 Casas y el Conjunto Huápoca.

### Antecedentes del uso del mucílago en la conservación del patrimonio cultural

El mucílago de nopal se utiliza en algunas zonas arqueológicas para lograr el fijado superficial de morteros y tierra deleznable, así como aditivo en morteros para intervención. Por ejemplo, Rogelio Rivero Chong ha preparado pastas de sacrificio con mucílago de nopal como aglutinante, y usó dicho mucílago al 5% en agua destilada para fijar los pigmentos y realizar la reintegración cromática con pigmentos de tierra en el templo de Quetzalcóatl.<sup>6</sup>

En La Ventilla, el mismo restaurador seleccionó nopal tuna tapona para la extracción de mucílago. Indica que se cortaron las pencas, se pelaron y picaron llenando hasta  $\frac{1}{4}$  el volumen del bote de cien litros, a continuación se machacaron las pencas peladas, se les agregó agua hasta llenar el bote, se dejó en reposo un día entero y el producto fue colado con el fin de agregarlo como aditivo en morteros, proporcionándoles plasticidad y flexibilidad al momento de su aplicación.<sup>7</sup>

El mucílago también se usa en monumentos históricos; por ejemplo, en el templo de Natividad de María de la Virgen del Rosario en Coatepec-Ixtapaluca, Estado de México, donde la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC) del INAH maneja un proyecto de conservación de bienes muebles y

ha realizado acciones de mantenimiento en el inmueble entre 2010 y 2014.

En esa obra se consideró la sustitución de los aplanados recientes con cemento por aplanados de cal-arena en diferentes proporciones según su estratigrafía. En el aplanado grueso se usó un mortero de arena-cal en proporción de 2:1 (dos volúmenes de arena de tezontle negro, con cribado fino, lavada con agua potable y expuesta a la intemperie para el secado y un volumen de cal de piedra apagada en agua potable durante 20 días mínimo para su hidratación), mezclados con el mucílago de tallos de nopal de cerro. Para el acabado fino del interior se aplicó un mortero terciado de arena-cal-marmolina en proporción de 1.5:1:0.5 (1.5 volúmenes de arena fina de tezontle negro lavada y seca; un volumen de cal; y 0.5 de volumen con marmolina), mezclados con mucílago de nopal, con asesoría de Norma Peña Peláez.

La recolección de nopal para la extracción del mucílago estuvo a cargo de Pablo Torres Soria, acompañado con el personal de albañilería de la obra protegidos con camisola de mangas largas, pantalón de mezclilla y botas de campo; se procedió a la recolección durante la época de secas por la mañana antes de que soplara el viento, con objeto de evitar la dispersión de los aguates que pueden dañar ojos y piel; se realizó el recorrido para seleccionar el nopal más abundante o nopal de cerro (*Opuntia streptacantha*), localizado en las laderas. El personal —con auxilio de machete, hacha y guantes de carnaza— seleccionó los nopales con altura aproximada de 3 m y con muchas ramas para poda, cortaron únicamente los tallos de las ramas, dejando el tronco principal para que desarrollara nuevos retoños. Cada uno de los tallos fue pelado para quitar espinas y corteza, se cortó en pequeños trozos de 30 cm y se partió por la mitad a lo largo, con objeto de evidenciar el mucílago; después se colocó en costales para transportarlos a la obra, donde fueron puestos en un tambo de plástico de 200 litros, se les cubrió con agua y se tapó el tambo. Diariamente fueron removidos con un palo, hasta la disolución total del mucílago alcanzada en 20 días. A continuación, con un biello se retiraron las partes leñosas de los tallos y se coló el mucílago mediante coladores plásticos de malla, con trama fina para separar los residuos leñosos.

<sup>6</sup> Rogelio Rivero Chong, "Proyecto de restauración del templo de Quetzalcóatl. Temporada de campo, 2006", México, Archivo de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.

<sup>7</sup> Rogelio Rivero Chong, *Proyecto de conservación y restauración de la zona La Ventilla: Frente 1*, México, CNCPC-INAH, 2008.

### *Aplicación del mucílago en la obra*

Después de quitar los aplanados fue necesario hacer una limpieza superficial en seco para recolectar residuos de mortero con auxilio de cepillos de cerdas de lechuguilla, aspiradora y compresor de aire, para dejar completamente limpia la superficie del mampuesto. A continuación, se roció una dilución de mucílago-agua en proporción de 1 a 3 (una parte de mucílago por tres partes de agua) con aspersor tipo mochila; se aplicó en bandas horizontales y verticales en intervalos de una hora entre cada aplicación y con tres repeticiones, con el objeto de impregnar bien la superficie de mampuesto de tezontle y morteros de cal-arena de las juntas y enladrillado de la bóveda; se dejó un día para el secado, a fin de fijar superficialmente los materiales, para que al momento de recibir los nuevos morteros tuvieran mayor adherencia a la superficie. Luego se mezclaron los morteros con mucílago, lo cual dio mayor maleabilidad al mismo. También fue usado el mucílago para preparar pintura a la cal en proporción 1:1 (cal-mucílago); ésta se aplicó mediante brocha de cerdas de agave en dos ocasiones, una horizontal y otra vertical, con objeto de recubrir bien el aplanado de los interiores.

### Otros usos

El mucílago de algunas especies, por ejemplo el *Opuntia sarca* Griff., es tan pegajoso que en ciertas comunidades rurales de los estados de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo lo han empleado como adhesivo.<sup>8</sup> Asimismo, la adición de mucílago en los morteros mejora las características físicas, funcionando como adhesivo orgánico, retardando el fraguado y reteniendo la humedad.

### Composición química del mucílago

El mucílago es el parénquima colector de reserva de color blanco formado por una gran cantidad de agua y polisacáridos almacenados.<sup>9</sup> Dicho parénquima se encuentra en la médula central del tronco y cladodios o

pencas maduras, limitado por haces vasculares (fibras leñosas del xilema), recubiertas de un parénquima clorofílico verde muy abundante en nopal verdura, recubierto por la epidermis formada por una capa superficial externa de células epidérmicas protectoras de cladodios, troncos y caracterizada por sintetizar y secretar una sustancia lipídica impermeable denominada cutina, formada por una película fina serosa (véase figura 1).<sup>10</sup>

Del análisis bibliográfico se desprende que no se han sistematizado los métodos de extracción y aplicación de la baba y del mucílago de nopal; tampoco se ha determinado si dichas sustancias sirven para conservar la estabilidad estructural de los acabados arquitectónicos de tierra. Esta situación nos motivó para realizar la presente investigación, eligiendo en este caso el nopal tuna blanca (*Opuntia amyclaea*) para la extracción de baba y mucílago.

### Objetivo general

A partir de la revisión bibliográfica sobre el origen botánico de la baba y del mucílago (composición química, características físico-químicas requeridas por el conservador para su manejo, aplicación y usos en conservación de acabados arquitectónicos de tierra en sitios y zonas arqueológicos y monumentos históricos), se busca determinar la selección y sistematizar mediante pruebas experimentales de laboratorio y campo los métodos idóneos de extracción y aplicación, fijado y consolidación para acabados arquitectónicos de tierra.

### Objetivos específicos y metodología

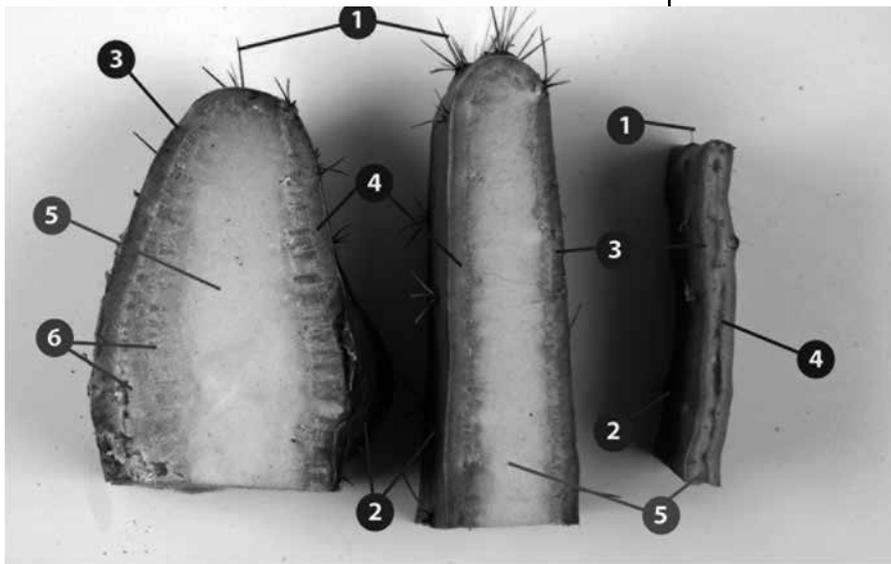
#### *Seleccionar y describir características distintivas de la especie de nopal*

Se eligió al nopal tuna blanca (*Opuntia amyclaea*) por ser una especie muy cultivada en México para la producción de tuna y comercialización nacional e internacional entre productores de San Martín de las Pirámides, población colindante con la Zona Arqueológica de Teotihuacán.

<sup>8</sup> Graciela Calderón de Rzedowski y Jerzy Rzedowski, *Flora fanerogámica del Valle de México*, México, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN, vol. II, 1985.

<sup>9</sup> Helia Bravo-Hollis, *Las cactáceas de México*, México, UNAM, 1978.

<sup>10</sup> Peter H. Raven, Ray F. Evert y Susan E. Eichhorn, *Biología de las plantas*, México, Reverte, 1992.



Tronco

Penca antigua

Nopal verdulero

- 1 Espinas
- 2 Cutina
- 3 Epidermis
- 4 Parénquima clorofiliano
- 5 Parénquima colector o mucílago
- 6 Xilema

Figura 1. Nopal tunablanca (*Opuntia amyoclaea*).

*Determinar y esquematizar el origen botánico de la baba y mucílago del nopal*

El nopal está constituido de raíz, tronco, ramas o tallos, cladodios o pencas, nopalitos o nopal verdura, espinas, ahuates, cutina, epidermis, parénquima clorofílico o baba de nopal, xilema, médula o cilindro central de tallos y pencas antiguas ocupado por parénquima de almacenamiento formado por tejido esponjoso, pegajoso blanco.<sup>11</sup>

Dicho parénquima se encuentra en la médula central del tronco y cladodios o pencas maduras; está limitado externamente por haces vasculares (fibras leñosas del xilema), recubiertas de un parénquima clorofílico verde muy abundante en nopal verdura, recubierto por la epidermis formada por una capa superficial externa de células epidérmicas protectoras de cladodios, troncos y

caracterizada por sintetizar y secretar una sustancia lipídica impermeable denominada cutina, formada por una película fina serosa.<sup>12</sup>

*Composición química de la baba de nopal*

Rodríguez-Félix y Cantwell indican que la composición química de los nopalitos frescos es principalmente agua (91%) y 1.5% de proteínas, 0.2% de lípidos, 4.5% de hidratos de carbono totales, 1.3% de cenizas, de la cual 90% es calcio; además, contiene 11 mg de vitamina C/100g y 30µg de carotenoides/100g; el contenido de fibra (1.1%) la hace comparable a la espinaca.

Según Jorge Luis Ornelas Núñez, la composición química del nopal verdura es: agua 91.80%, carbohidratos 5.50% y cenizas 1.58%.<sup>13</sup>

**Composición química del mucílago**

**E**l mucílago es el parénquima colector de reserva de color blanco formado por la gran cantidad de agua y polisacáridos almacenados: L-Arabinosa, D-Xylosa, D-Galactosa y L-Ramnosa, agua y algunos haces vasculares.<sup>14</sup> A decir de otros investigadores, la composición química del mucílago son polisacáridos representados por galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico.<sup>15</sup>

<sup>12</sup> Peter H. Raven, Ray F. Evert y Susan E Eichhorn, *op. cit.*

<sup>13</sup> Jorge Luis Ornelas Núñez, "Mejoramiento de método de extracción del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad", tesis de licenciatura, Morelia Facultad de Química y Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2011.

<sup>14</sup> Helia Bravo Hollis, *op. cit.*

<sup>15</sup> E.S. Amin, O. Awad y M. El-Sagel (1970), "The Mucilage of *Opuntia ficus indica*", en *Carbohydrate Research*, vol. 15, 1970, pp. 159-161; D. Mcgarvie y H. Parolis, "Methylation Analysis of the

<sup>11</sup> Helia Bravo Hollis, *op. cit.*

El mucílago de nopal contiene un polímero lineal cuyo peso molecular oscila alrededor de  $13 \times 10^6$  g/mol y está compuesto por polisacáridos emparentados con las pectinas. Su composición glucosídica es 47% de arabinosa, 23% de xilosa, 18% de galactosa, 7% de ramnosa y 5% de ácido galacturónico, respecto a su peso molecular.<sup>16</sup>

#### Métodos de recolección y extracción de baba de nopal

Los nopales verdura *Opuntia ficus indica* se compran en los mercados públicos para extracción de la baba por diferentes métodos; así, Torres y Barrita señalan el siguiente método de extracción de la baba de nopal verdura: se cortan los nopales en trozos, se mezclan con agua en diferentes proporciones de peso, se dejan reposar en temperatura ambiente durante cuatro días; entre el segundo y tercer día se incrementa la viscosidad debido a la liberación de la baba y la descomposición inicia a partir del tercer día, con lo cual disminuye la viscosidad hasta en 50%; la solución tiene un olor desagradable. En el caso de la cocción del nopal verdura, la viscosidad se mantiene constante por cinco días.<sup>17</sup>

León Martínez explica así el mismo proceso: se cortan y rebanan los nopales, después se colocan en un recipiente con agua destilada en proporción de tres

En la *Revista Cultural Alternativas*, publicada por el Instituto Cultural de León, se menciona el uso de pintura ecológica y barata con baba de nopal, la cual se extrae con el procedimiento ya mencionado.<sup>18</sup>

Mucilage of *Opuntia ficus indica*", en *Carbohydrate Research*, vol. 88, 1981, pp. 305-314; S. Trachtenberg y A.M. Mayer, "Composition and Properties of *Opuntia ficus indica* mucilage", en *Phytochemistry*, vol. 20, núm. 12, 1981, pp. 2665-2668; S.E. Chandra, L. Klund y R.R. Villarreal, "Use of Cactus in Mortars and Concrete", en *Cement and Concrete Research*, vol. 28, núm. 1, 1998, pp. 41-51; C. Sáenz, E. Sepúlveda y B. Matsuhira, "*Opuntia* spp. Mucilage: A Functional Component with Industrial Perspective", en *Journal of Arid Environments*, núm. 57, 2004, pp. 275-290.

<sup>16</sup> Carmen Sáenz, *Utilización agroindustrial del nopal*, Roma, FAO (*Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*, 162), 2006.

<sup>17</sup> Andrés A. Torres Acosta, Prisciliano Felipe de J. Cano Barrita, "Las bondades del nopal", en *Construcción y Tecnología*, octubre 2007, en línea [http://www.imcyc.com/ct2007/oct07/tecnologia.htm].

<sup>18</sup> "Pintura 'verde' y barata con baba de nopal", en *Revista Cultural Alternativas*, en línea [http://institutoculturaldeleon.org.mx/

Así, la extracción de la baba ocurre por dos vías: a temperatura ambiente y por cocción de los nopales verdura. En el primer caso se obtiene en un lapso de dos a tres días y al tercero se inicia la descomposición, caracterizada por un olor desagradable con una disminución de 50% en la viscosidad. En el segundo caso, se obtiene en un periodo de 8 a 36 horas mediante cocción.

#### Métodos químicos de extracción del mucílago

La extracción del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill tiene una metodología con diversas variantes. Por ejemplo, Medina-Torres *et al.* aconsejan macerar la pulpa obtenida de los tallos: centrifugar, decantar, precipitar el mucílago con acetona en proporción 1:2, y realizar el lavado del precipitado con 2-propanol y secar.<sup>19</sup>

Carmen Sáenz reporta el método de extracción del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) de la siguiente manera: seleccionan pencas de 2 a 3 años, lavan con agua clorada, escobillan para eliminar las espinas, trituran las pencas en un molino con cuchillas, mezclan con agua potable en proporción de 1:7, dejan en reposo por lo menos 16-20 horas, filtran con tela de gaza, centrifugan el sobrenadante y concentran al vacío a 70°C, agregan etanol a 96% en proporción 1:3, obtienen el mucílago precipitado, lo lavan con isopropanol en ebullición a 95%, filtran y muelen en polvo.<sup>20</sup>

Martínez *et al.* eligen cactus *Opuntia blanca*, los cortan en trozos de 30 kg, lo hierven en 60 litros de agua potable, lo dejan enfriar y lo filtran.<sup>21</sup>

Ramírez aconseja la extracción del mucílago *Opuntia ficus-indica* por escaldado o vapor, la molienda es con licuadora comercial, se deja reposar a temperatura ambiente durante 12-24 horas, filtra con manta para retener

icl/story/741/Pintura-verde-y-barata-con-baba-de-nopal#.VbAlcfl\_Oko]

<sup>19</sup> L. Medina-Torres, E. Brito-de la Fuente, B. Torretania-Sánchez y R. Kathian, "Rheological properties of the Mucilage (*Opuntia ficus indica*)", en *Food Hydrocolloids*, núm. 14, 2000, pp. 417-424.

<sup>20</sup> Carmen Sáenz, *op. cit.*

<sup>21</sup> W. Martínez, E.M. Alonso, J.C. Rubio, J.A. Bedolla, F.A. Velazco, A.A. Torres, "Comportamiento mecánico de morteros de cal apagada artesanalmente, adicionados con mucílago de cactáceas y ceniza volcánica para su uso en restauración y conservación de monumentos coloniales", en *Revista de la Construcción*, vol. 7, núm. 2, 2008, pp. 93-101.

partículas sólidas, mete en estufa a 50°C durante 72 horas, precipita el mucílago con etanol a 96% y en acetona en proporción 1:1, se realiza el secado en estufa a 50°C y se muele con un mortero.<sup>22</sup>

Para Garnica-Romo el proceso de extracción del mucílago consiste en limpiar las pencas de espinas; cortarlas en cuadros de 2 cm por lado y molerlas con agua 1:2; se calientan a 80°C por una hora; se centrifugan 350 rpm por 20 minutos; el sobrenadante se concentra en baño maría por 150 minutos; se precipitan en etanol a 96% 1:4 v/v; se deshidratan y se muele el mucílago en polvo.<sup>23</sup>

Ornelas Núñez señala una metodología optimizada para la extracción del mucílago: lavado de cladodios o nopal verdura con agua y jabón, remoción de piel y espinas, corte en trozos de 2 cm por lado, pesado de trozos, molienda de trozos en agua destilada 1:2, calentamiento a 82°C por una hora, centrifugado a 3500 rpm por 20 minutos, desechar precipitado, sobrenadante concentrado en baño maría por 150 minutos, precipitado en etanol 96% en proporción 1:4 y dejar en reposo 4°C por 48 horas, obtención de precipitado, deshidratación en secado solar, molienda en mortero.<sup>24</sup>

#### Sistematización de los métodos de la extracción de la baba y disolución del mucílago en agua destilada

Para extraer la baba de nopal verdura y del mucílago se consideraron un total de cinco variantes: dos en la baba y tres del mucílago: 1) baba fresca de nopal verdura (BFNV), 2) baba fresca de nopal verdura macerado (BFNV-M), 3) mucílago de tronco fresco (MTF), 4) mucílago de tronco fresco macerado (MTFM), 5) mucílago de tronco deshidratado (MTD).

<sup>22</sup> Samuel Ramírez Arellanes, "Propiedades mecánicas y micro estructura de concreto conteniendo mucílago de nopal como aditivo natural", tesis de maestría en Ciencias, Oaxaca, IPN-CIDIR, 2008.

<sup>23</sup> María Guadalupe Garnica-Romo, "Optimización del proceso de extracción del mucílago de cinco especies de *Opuntia*: *O. atropes*, *O. tomentosa*, *O. hyptiacantha*, *O. xocnostle*, *O. streptacantha*", Morelia, Facultad de Químico-Farmacobiología, Universidad de San Nicolás de Hidalgo, 2011.

<sup>24</sup> Jorge Luis Ornelas Núñez, *op. cit.*

#### *Extracción de la baba de nopal verdura a partir de BFNV y BFVM*

Para obtener la baba se fijó un tiempo de tres días y se procedió de la siguiente manera: los nopales verdura frescos se recolectaron de la zona arqueológica de Teotihuacán, se llevaron al laboratorio en bolsa de plástico, se pelaron con un cuchillo para quitarles las espinas, se cortaron en pequeños trozos, se pesaron en una balanza granataria Ohaus con capacidad de 1 200 kg para preparar dos grupos.

El primero comprendió cuatro proporciones: 10, 30, 70 y 100 ml por un peso constante de 10 g de nopal verdura; el segundo consideró cuatro porcentajes: 1, 3, 7, 10% de peso de nopal verdura en volumen constante de 100 ml para cada una. Para el primer grupo se dejaron remojando en agua destilada en frascos de plástico transparente cerrados con tapa de rosca con remoción diaria mediante un agitador de vidrio hasta los tres de la liberación de la baba; se coló en colador doméstico de malla fina de plástico para separar la baba de los trozos de nopal. Para el segundo grupo, el nopal cortado y pesado fue macerado en un mortero y colocado en agua destilada en frascos de plástico transparente cerrados con tapa de rosca y remoción diaria mediante un agitador de vidrio hasta la extracción de la baba.

#### *Disolución del mucílago de tronco fresco (MTF) en agua destilada*

Se recolectó mucílago de tronco fresco (MTF) de la zona Arqueológica de Teotihuacán; con auxilio de machete y guantes de carnaza se cortaron pequeños trozos de tallos de 30 cm, se pelaron para quitar espinas y corteza, se partieron por la mitad, a lo largo, para evidenciar el mucílago, se colocaron en costales para transportarlos al laboratorio de la CNCPC; con el cuchillo se recolectó el mucílago, se cortó en pequeños trozos, se pesó en una balanza granataria Ohaus con capacidad de 1 200 kg y se consideraron dos grupos: el primero comprendió cuatro proporciones: 10, 30, 70 y 100 ml de agua destilada por un peso constante de 10 g de mucílago; el segundo consideró cuatro porcentajes: 1, 3, 7, 10% de peso del mucílago en volumen constante de 100 ml

de agua destilada para cada una. Se colocaron en frascos de plástico transparente cerrados con tapa de rosca con remoción diaria mediante un agitador de vidrio hasta la disolución total del mucílago.

*Disolución del mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) en agua destilada*

El mucílago se cortó en pequeños trozos, se pesó en balanza granataria Ohaus con capacidad de 1 200 kg y se formaron dos grupos: el primero comprendió cuatro proporciones: 10, 30, 70 y 100 ml de agua destilada por un peso constante de 10 g de mucílago; el segundo consideró cuatro porcentajes: 1, 3, 7, 10% de peso del mucílago en volumen constante de 100 ml de agua destilada para cada una. El mucílago ya pesado fue macerado en un mortero y colocado en agua a disolución en frascos de plástico transparente cerrados con tapa de rosca y remoción diaria con un agitador de vidrio hasta la disolución total del mucílago.

*Disolución del mucílago de tronco deshidratado (MTD) en agua destilada*

Esta variable se incluyó al considerar la facilidad de manejo, disponibilidad del material en cualquier época del año y transportación al sitio que se requiera.

El mucílago se cortó en pequeñas hojas muy delgadas y colocadas en charolas de laboratorio; se secó al sol durante 5-10 días con remoción diaria hasta su deshidratación casi total.

El mucílago deshidratado se pesó en balanza granataria Ohaus con capacidad de 1 200 kg y se consideraron dos grupos: el primero comprendió cuatro proporciones: 10, 30, 70 y 100 ml de agua destilada por un peso constante de 10 g de mucílago; el segundo consideró cuatro porcentajes: 1, 3, 7, 10% de peso del mucílago en volumen constante de 100 ml de agua destilada para cada una. El mucílago ya pesado se dejó en agua a disolución en frascos de plástico transparente, cerrados con tapa de rosca y remoción diaria mediante un agitador de vidrio hasta su disolución total.

Luego fue necesario evaluar en el laboratorio las características físico-químicas de la baba y del mucílago en

cada una de las variantes relativas a la aplicación, fijado y consolidación de la superficie deleznable en adobes y tierra del relleno de la plataforma exterior oriente en la pirámide del Sol:

- pH: acidez y alcalinidad medidas con tiras de papel indicador Baker-PHIX-pH 0-14
- color: medido con la tabla de Munsell
- olor: agradable o desagradable medido con el olfato de la punta de la nariz
- hilo: hebra delgada o gruesa formado por la baba y mucílago. Se midió con una varilla de vidrio al remover las diferentes soluciones, durante tres minutos, se sacó la varilla y se observó en su extremo la formación de la hebra
- viscosidad: resistencia de baba y mucílago para fluir
- fluidez: resistencia de las disoluciones del mucílago a fluir sobre una superficie; dicha característica se mide mediante la técnica de frotis,<sup>25</sup> de cada una de las disoluciones sobre una mesa en un portaobjetos horizontal; a 3 cm de uno de los extremos se colocó una gota de mucílago de 4 mm de diámetro, con el borde de otro portaobjetos inclinado a 45° se tocó la gota y se deslizó por capilaridad a todo lo largo y ancho del portaobjetos horizontal con movimiento rápido y uniforme, dejando una capa o película superficial a la que se le midió extensión, contracción, adherencia, espesor o grosor y dureza al rayado medido con la uña del dedo índice.

Para la medición de las características físico-químicas se seleccionaron las cinco variantes mencionadas: baba de nopal verdura fresco, baba de nopal verdura fresco macerado, mucílago de tronco fresco, mucílago de tronco fresco macerado y mucílago de tronco deshidratado. Cada una de ellas con 10 porcentajes diferentes de 1 a 10% con un total de 50 muestras. Se realizaron ensayos con una jeringa para encontrar la cantidad ideal de dos gotas para efectuar la experimentación en el laboratorio.

<sup>25</sup> Gonzalo Gaviño de la Torre y Carlos Juárez López, *Técnicas biológicas selectas de laboratorio y campo*, México, Limusa, 1985.

Se colocaron las dos gotas de la disolución del mucílago sobre un portaobjetos para realizar un frotis y observar las características de cada mucílago, todo el proceso fue registrado por escrito y mediante fotografía.

De esta manera se corrieron tres preparaciones por cada uno de los porcentajes de las 50 muestras con un total de 150 sobre los portaobjetos, y durante el proceso se midieron y observaron las características.

La primera fue el área cubierta por el frotis, para lo cual se colocó debajo del portaobjetos un papel milimétrico y se determinó el área total en mm<sup>2</sup>.

Las siguientes características observadas fueron el color de la baba y del mucílago sobre el portaobjetos la formación o no de película en superficie, el grosor, el hecho de ser transparente u opaca, y la fluidez de la disolución del mucílago; todo ello se observó a simple vista. Por último se tomó el pH de cada muestra mediante tiras de papel.

El siguiente paso fue colocar una gota de cada una de las disoluciones de mucílago sobre otro portaobjetos y tapanlo con un cubreobjetos, para que luego de 24 horas se pudiera medir la adhesividad de cada producto.

Una vez secas las películas generadas por el frotis, se procedió a observarlas de nuevo y comprobar si no presentaban contracciones, modificaciones en el color de la película, adherencia, grosor, dureza o resistencia al rayado.

Para medir la dureza se utilizó la uña y una espátula para rayar la superficie de las películas, y en función de la facilidad o dificultad para rayar se calificó de muy fácil a fácil.

La adhesividad de las disoluciones del mucílago se midió conforme a la fuerza aplicada para separar los cubreobjetos de los portaobjetos.

La información obtenida de las características físico-químicas de cada una de las variantes de mucílago, en los 10 porcentajes, se vació en tablas.

Entonces se procedió a determinar experimentalmente la efectividad de la baba y mucílago en el fijado y consolidación de adobes históricos con cada una de tres variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF), mucílago de tronco fresco (MTF) y mucílago de tronco deshidratado (MTD), así como el fijado, consolidación de

adobes históricos y aglutinación de la arcilla obtenida de la maceración del adobe.

Para cada una de las variantes se seleccionaron los siguientes porcentajes: BNVF, 3%, 7%, 10%; MTF, 3%, 7%, 10% y MTD, con 2%, 4%, 6%.

Por cada porcentaje se formaron grupos de tres probetas o cubos de adobe; a cada uno se le midió el peso inicial, se registró el volumen inicial de cada una de las proporciones, con aspersor manual se rociaron las seis caras de los cubos en tres ocasiones, a intervalos de tres horas, dejando secar durante tres días; luego se pesaron para obtener la diferencia de peso, y determinar así la cantidad de baba y mucílago absorbida en el adobe.

Estos resultados se probaron en el muro de adobe de la plataforma exterior oriente de la pirámide del Sol, protegido con techumbre; se ubicaron y delimitaron nueve adobes para formar tres grupos de tres adobes, y un adobe testigo para aplicar por aspersión MTD a 2%, MTF a 10%, BNVF a 7% por grupo con tres repeticiones a intervalos de una hora; se dejó secar durante un mes y se describieron características de formación de película en superficie e higroscopicidad del adobe por absorción de agua (constatado con la aplicación de una gota con gotero en adobes tratados y testigo); se midió la resistencia al rayado con la punta de un clavo, dureza, y aspecto superficial de los adobes. Estas características se registraron durante las dos épocas de secas y lluvias en una tabla de datos. Las mismas fueron cuantificadas sobre material de relleno de tierra del cajón con seis disoluciones de mucílago de tronco deshidratado (MTD): 2, 4, 6%, 2+4, 2+6 y 2+4+6%, estas tres variaciones se realizaron con objeto de conocer si aplicando primero la disolución de menor porcentaje, seguida de una de mayor porcentaje, se podría lograr una mejor consolidación. Para desarrollarlo se delimitaron nueve pequeñas áreas sobre la pared del relleno de tierra. Luego se formaron tres grupos de tres áreas cada uno: grupo A, primero se aplicó el porcentaje más bajo, se dejó secar una hora, se roció con aspersor el porcentaje medio (2+4). En el grupo B se aplicó un porcentaje bajo, más un porcentaje alto (2+6), y en el grupo C porcentaje bajo más medio, más alto (2+4+6) aplicados por aspersión sobre la superficie de los materiales de relleno del cajón.

## Resultados

### *Características distintivas del nopal (Opuntia amyclaea Tenore)*

El nopal tuna blanca es una planta mexicana arborescente o arbustiva de raíz fibrosa, tronco, cladodios o pencas, aréolas, espinas, glóquideas o aguates, flores amarillentas, frutos o tunas. En 1846, 1853 y 1928 fue llevada a Europa para su propagación y comercialización como verdura y fruta.<sup>26</sup> Actualmente se le cultiva para la producción de tunas en el valle y laderas del Cerro Gordo, municipio de San Martín de las Pirámides, por su gran importancia comercial nacional e internacional. También se le cultiva y explota comercialmente en Hidalgo, Querétaro, Tlaxcala, Morelos, Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas.<sup>27</sup>

El nopal tuna blanca crece en forma natural en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y la zona arqueológica de Teotihuacán, en el Estado de México.

### *Composición química de la baba y el mucílago*

Composición química de la baba	Composición química del mucílago
Agua 91%, proteínas 1.5%, lípidos 0.2%, hidratos de carbono 4.5%, cenizas 1.3% ricas en calcio (90%), vitamina C, carotenoides y fibra. <sup>28</sup>	<i>Polisacáridos: galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico.</i> <sup>29</sup>

<sup>26</sup> Helia Bravo-Hollis, *op. cit.*

<sup>27</sup> J.P. de la Rosa-Hernández y D. Santana-Amaro, *El nopal, usos, manejo agronómico y costos de producción en México*, México, CONAZA-UACH-CIESTAAM, 1998.

<sup>28</sup> Armida Rodríguez-Félix y Marita Cantwell, "Developmental Changes in Composition and Quality of Prickly Pear Cactus Cladodes (nopalitos)", en *Plant Food Hum.*, núm. 38, 1998, pp. 83-93.

<sup>29</sup> E.S. Amin, O. Awad y M. El-Sagel, *op. cit.*; D. Mcgarvie y H. Parolis, *op. cit.*; S. Trachtenberg y A.M. Mayer, *op. cit.*; S.E. Chandra, L. Klund y R.R. Villarreal, *op. cit.*; C. Sáenz, E. Sepúlveda y B. Matsuhira, *op. cit.*

### *Localización de baba y de mucílago en tronco, penca y nopal verdura*

La baba se encuentra en los brotes tiernos o nopal verdura, rico en parénquima clorofílico y químicamente es un hidrocoloide cuya sustancia es parecida a gelatina dispersa en agua. El mucílago se encuentra en la médula central del tronco, tallos y cladodios o pencas antiguas o gruesas con más de tres años de crecimiento; botánicamente es un tejido vegetal, blanco, esponjoso, viscoso, una sustancia densa, pegajosa y químicamente rico en polisacáridos.

### *Resultados de la primera etapa experimental*

1. Mediciones de pH, fluidez, formación de hilo, color y olor en dos variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF) y mucílago de tronco fresco (MTF) en diferentes volúmenes de 10 a 100 ml (tabla 1).

Los valores de pH, color y olor se mantienen constantes, la fluidez es baja en los volúmenes de 10 a 40 ml, media de 50 a 70 ml y alta de 80 a 100 ml, idéntica al agua. La formación de hilo generalmente es grueso a medio de 10 a 50 ml, medio en 90 ml, y delgado en 70, 80 y 100 ml (tabla 2).

El pH generalmente es ácido con rangos de 4 a 5.5, la fluidez en su mayoría es media con formación de hilo: muy grueso, grueso, medio, delgado, color amarillento en los volúmenes de 1 a 4 y blanco del 5 al 10. El olor idéntico a verdura.

2. Mediciones de cobertura, color, calidad, fluidez, formación de película y pH en diferentes porcentajes de 1 a 10% en 50 muestras de cinco variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF), baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM), mucílago de tronco fresco (MTF), mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) y mucílago de tronco deshidratado (MTD), al momento de colocarlas en los portaobjetos, durante el frotis, así como las películas que formaron en el lapso de 24 horas fueron registradas en las siguientes cinco tablas (3-7) (tabla 3).

En la dilución de baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM), el color, la calidad de la película, fluidez, formación de película, grosor de la película, pH se man-

**Tabla 1. La liberación o dilución de la baba de nopal verdura fresco (BNVF) en agua destilada en 10 volúmenes diferentes de 10 a 100 ml con peso constante de 10 g, ocurrió a los tres días, con los siguientes resultados**

Volúmenes (BNVF)	Cantidad de nopal (g)	Agua (ml)	pH	Fluidez	Formación de hilo	Color	Olor a
1	10	10	5.0	baja	grueso a medio	incoloro	verdura
2	10	20	5.0	baja	grueso	incoloro	verdura
3	10	30	5.0	baja	grueso a medio	incoloro	verdura
4	10	40	5.0	baja	grueso a medio	incoloro	verdura
5	10	50	5.0	media	grueso a medio	incoloro	verdura
6	10	60	5.0	media	delgado	incoloro	verdura
7	10	70	5.0	media	delgado	incoloro	verdura
8	10	80	5.0	alta	delgado	incoloro	verdura
9	10	90	5.0	alta	medio	incoloro	verdura
10	10	100	5.0	alta	delgado	incoloro	verdura

**Tabla 2. La disolución total del mucílago de tronco fresco (MTF) en agua destilada en 10 diferentes volúmenes de 10 a 100 ml a temperatura ambiente, a peso constante de 10 g de mucílago, ocurrió a los 20 días, con los siguientes resultados: el pH es ácido con valores de 4 a 6, la fluidez de baja-media, formación de hilo de muy grueso-grueso-medio-delgado, el color viró de amarillento a blanco con olor a verdura**

Volúmenes (MTF)	Cantidad de mucílago (g)	Agua (ml)	pH	Fluidez	Formación de hilo	Color	Olor a
1	10	10	6	baja	muy grueso	amarillento	verdura
2	10	20	5.5	media	grueso	amarillento	verdura
3	10	30	5.5	media	grueso	amarillento	verdura
4	10	40	5	media	grueso	amarillento	verdura
5	10	50	4	media	medio	blanco	verdura
6	10	60	4	media	medio	blanco	verdura
7	10	70	5	media	medio	blanco	verdura
8	10	80	5	media	medio	blanco	verdura
9	10	90	5	media	medio	blanco	verdura
10	10	100	4	media	delgado	blanco	verdura

**Tabla 3. Resultados de: cobertura, color, calidad, fluidez, formación, espesor de la película y pH de la baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM) disuelta en agua destilada en diez porcentajes diferentes, de 1 a 10%**

BNVFM (%)	Área cubierta con frotis (mm <sup>2</sup> )	Color de la película	Calidad de la película	Fluidez de la película	Formación de la película	Espesor de la película	pH
1	85	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
2	500	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
3	245	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
4	230	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
5	310	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
6	500	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
7	550	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
8	700	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
9	1 200	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
10	1 125	incoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7

tienen constantes con variación en la cobertura de 85 a 1 200 mm<sup>2</sup>, es decir se incrementó conforme al aumento de los porcentajes de la disolución de mucílago de penca fresca macerada (tabla 4).

En la dilución de baba de nopal verdura fresco (BNVF), el color, la calidad de la película, la fluidez y el pH se mantuvieron constantes en los 10 porcentajes. La cobertura de la película se incrementó de 1% (112 mm<sup>2</sup>) a 6% (320 mm<sup>2</sup>) y decreció de 7% (210 mm<sup>2</sup>) hasta 10% (100 mm<sup>2</sup>) (tabla 5).

En la disolución de mucílago de tronco fresco macerado (MTFM), la cobertura de la película se incrementó en las proporciones de 1 a 5% y se mantuvo constante de 6 a 10%. En todos los porcentajes el color, la calidad y formación de la película se mantuvieron constantes. La fluidez fue de alta de 1 a 5% con un pH de 7 y media entre 6 y 10% con pH de 8 (tabla 6).

En la disolución de mucílago de tronco fresco (MTF) los valores de cobertura de película fueron iguales de 350 mm<sup>2</sup> en los porcentajes 3 y 9%, 700 mm<sup>2</sup> en 4 y 6%, siendo mayor en 5% con 750 mm<sup>2</sup> y menor en 1% con 150 mm<sup>2</sup>.

El color, la calidad, formación de la película, fluidez, espesor de la película y pH se mantuvieron constantes (tabla 7).

En la disolución de mucílago de tronco deshidratado (MTD) la cobertura de película en los 10 porcentajes aumentó de 300 mm<sup>2</sup> a 1% sin formar película; 1 200 mm<sup>2</sup> a 10% con formación de película irregular gruesa, y en 6% y 9%, registraron el mismo valor de 900 mm<sup>2</sup>. En 1-4%) son incoloros, de 5 a 8% son ligeramente amarillos y en 9 y 10% son color ámbar. La calidad de película se mantiene constante (transparente). La fluidez es de alta en 1, 2 y 3% sin formar película sólo gotas; en 4% forma película irregular delgada, e irregular media en 7, 8 y 9%; muestra fluidez media en 5, 6 y 7%, y fluidez baja en 8, 9 y 10%.

El pH en los 10 porcentajes tiene un incremento de 7.5 a 8.5 dentro del rango alcalino.

3) Mediciones de cobertura, contracción, adherencia y dureza en tres preparaciones por porcentaje con un total de 30 preparaciones de cada una de las cinco variantes mencionadas: baba de nopal verdura fresco (BNVF), baba

**Tabla 4. Resultados de cobertura, color, calidad, fluidez, formación, espesor de la película y pH de la baba de nopal verdura fresco (BNVF) disuelto en agua destilada en diez porcentajes diferentes del 1 al 10%**

BNVF (%)	Área cubierta con frotis (mm <sup>2</sup> )	Color de la película	Calidad de la película	Fluidez de la película	formación de la película	Espesor de la película	pH
1	112	incolore	transparente	alta	irregular	gruesa	10
2	120	incolore	transparente	alta	gotas	0	10
3	130	incolore	transparente	alta	gotas	0	10
4	300	incolore	transparente	alta	gotas	0	10
5	310	incolore	transparente	alta	gotas	0	10
6	320	incolore	transparente	alta	irregular	gruesa	10
7	210	incolore	transparente	alta	irregular	gruesa	10
8	170	incolore	transparente	alta	irregular	gruesa	10
9	120	incolore	transparente	alta	irregular	gruesa	10
10	100	incolore	transparente	alta	gotas	0	10

**Tabla 5. Resultados de cobertura, color, calidad, fluidez, formación, espesor de la película y pH del mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) disuelto en agua destilada en diez porcentajes diferentes, de 1 a 10%. La disolución del mucílago ocurrió en 10 días**

MTFM (%)	Área cubierta con frotis (mm <sup>2</sup> )	Color de la película	Calidad de la película	Fluidez de la película	Formación de la película	Espesor de la película	pH
1	1 100	incolore	transparente	alta	irregular con grumos	gruesa	7
2	1 350	incolore	transparente	alta	irregular con grumos	gruesa	7
3	1 375	incolore	transparente	alta	irregular con grumos	gruesa	7
4	1 315	incolore	transparente	alta	irregular con grumos	media	7
5	1 250	incolore	transparente	alta	irregular con grumos	gruesa	7
6	1 625	incolore	transparente	media	irregular con grumos	gruesa	8
7	1 625	incolore	transparente	media	irregular con grumos	gruesa	8
8	1 625	incolore	transparente	media	irregular con grumos	gruesa	8
9	1 625	incolore	transparente	media	irregular con grumos	gruesa	8
10	1 625	incolore	transparente	media	irregular con grumos	gruesa	8

**Tabla 6. Resultados de cobertura, color, calidad, fluidez, formación, espesor de la película y pH del mucílago de tronco fresco (MTF) disuelto en agua destilada en diez porcentajes diferentes de 1 a 10%**

MTF (%)	área cubierta con frotis (mm <sup>2</sup> )	Color de la película	Calidad de la película	Fluidez de la película	Formación de la película	Espesor de la película	pH
1	150	inoloro	transparente	alta	grumos	gruesa	7
2	300	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
3	350	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
4	700	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
5	750	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
6	700	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
7	250	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
8	500	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
9	350	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7
10	650	inoloro	transparente	alta	irregular	gruesa	7

**Tabla 7. Resultados de cobertura, color, calidad, fluidez, formación, espesor de la película y pH del mucílago de tronco deshidratado (MTD) disuelto en agua destilada en diez porcentajes diferentes, de 1 a 10%. La disolución del mucílago ocurrió a los 14 días**

MTD (%)	Área cubierta con frotis (mm <sup>2</sup> )	Color	Calidad de la película	Fluidez	Formación de película	Espesor de la película	pH
1	300	inoloro	transparente	alta	gotas	0	7.5
2	450	inoloro	transparente	alta	gotas	0	7.5
3	300	inoloro	transparente	alta	gotas	0	8
4	800	inoloro	transparente	alta	irregular	delgada	8
5	400	tonalidad amarillo	transparente	media	gotas	0	8
6	900	tonalidad amarillo	transparente	media	irregular	media	8.5
7	1 000	tonalidad amarillo	transparente	media	irregular	media	8
8	800	tonalidad amarillo	transparente	baja	irregular	media	8.5
9	900	ámbar	transparente	baja	irregular	media	8
10	1 200	ámbar	transparente	baja	irregular	gruesa	8

de nopal verdura fresco macerado (BNVFM), mucílago de tronco fresco (MTF), mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) y mucílago de tronco deshidratado (MTD) en porcentajes diferentes de 1 a 10%, sumando un total de 150 preparaciones, ensayadas con frotis, para analizar las películas formadas sobre los portaobjetos en el lapso de 24 horas. A continuación se resumen los resultados obtenidos en las siguientes cinco tablas (8-12) (tabla 8).

No se observó contracción, la adherencia resultó de muy baja a baja, y la dureza de muy fácil a fácil de rayar (tabla 9).

No se observó contracción, presentó muy baja adherencia y es fácil de rayar (tabla 10).

No se observó contracción, hay baja adherencia y es fácil de rayar (tabla 11).

No se observó contracción, la adherencia media en 1 a 6% y de muy fácil a fácil de rayar. De 7 a 8% la adhe-

rencia es media, pero difícil de rayar, y en 9-10% la adherencia es alta y muy difícil de rayar (tabla 12).

No se observó contracción, la adherencia generalmente es muy alta, pero fácil de rayar.

### Conclusiones de los resultados obtenidos en la primera etapa de investigación

#### *Revisión y análisis de la bibliografía consultada*

Se corroboró que el empleo de baba de nopal en aplicaciones prácticas en conservación es mucho más amplio que lo que indica la bibliografía consultada.

Las referencias de los trabajos son sumamente vagas, no precisan extracción, preparación, ni aplicación; en todos los casos se hace referencia a la baba de nopal y no al mucílago. Aunque existía la idea de que ambos elementos eran iguales, esta investigación permitió definir que son

**Tabla 8. Resultados de cobertura, contracción, adherencia y dureza de la película de la baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM) en diez porcentajes diferentes de 1 a 10%**

BNVFM (%)	Cobertura del portaobjetos (mm <sup>2</sup> )	Contracción de la película (mm <sup>2</sup> )	Adherencia	Dureza de la película al rayado
1	85	0	muy baja	muy fácil
2	500	0	muy baja	muy fácil
3	245	0	muy baja	muy fácil
4	230	0	baja	fácil
5	310	0	baja	fácil
6	500	0	baja	fácil
7	550	0	baja	fácil
8	700	0	baja	fácil
9	1200	0	baja	fácil
10	1125	0	baja	fácil

**Tabla 9. Resultados de cobertura, contracción, adherencia y dureza de la película de baba de nopal verdura fresco (BNVF) en diez porcentajes diferentes de 1 a 10%**

BNVF (%)	Cobertura del portaobjetos (mm <sup>2</sup> )	Contracción de la película (mm <sup>2</sup> )	Adherencia	Dureza de la película al rayado
1	112	0	muy baja	fácil
2	120	0	muy baja	fácil
3	130	0	muy baja	fácil
4	300	0	muy baja	fácil
5	310	0	muy baja	fácil
6	320	0	muy baja	fácil
7	210	0	muy baja	fácil
8	170	0	muy baja	fácil
9	120	0	muy baja	fácil
10	100	0	muy baja	fácil

**Tabla 10. Resultados de cobertura, contracción, adherencia y dureza de la película del mucilago de tronco fresco macerado (MTFM) en diez porcentajes diferentes de 1 a 10%**

MTFM (%)	Cobertura del portaobjetos (mm <sup>2</sup> )	Contracción de la película (mm <sup>2</sup> )	Adherencia	Dureza de la película al rayado
1	1 100	0	baja	fácil
2	1 350	0	baja	fácil
3	1 375	0	baja	fácil
4	1 315	0	baja	fácil
5	1 250	0	baja	fácil
6	1 625	0	baja	fácil
7	1 625	0	baja	fácil
8	1 625	0	baja	fácil
9	1 625	0	baja	fácil
10	1 625	0	baja	fácil

**Tabla 11. Resultados de cobertura, contracción, adherencia y dureza de la película del mucilago de tronco fresco (MTF) en porcentajes de 1 a 10%**

MTF (%)	Cobertura del portaobjetos (mm <sup>2</sup> )	Contracción de la película (mm <sup>2</sup> )	Adherencia	Dureza de la película al rayado
1	150	0	media	muy fácil
2	300	0	media	muy fácil
3	350	0	media	muy fácil
4	700	0	media	fácil
5	750	0	media	fácil
6	700	0	media	fácil
7	250	0	media	difícil
8	500	0	media	difícil
9	350	0	alta	muy difícil
10	650	0	alta	muy difícil

**Tabla 12. Resultados de cobertura, contracción, adherencia y dureza de la película del mucilago de tronco deshidratado (MTD) en diez porcentajes diferentes**

MTD (%)	Cobertura del portaobjetos (mm <sup>2</sup> )	Contracción de la película (mm <sup>2</sup> )	Adherencia	Dureza de la película al rayado
1	300	0	alta	fácil
2	450	0	alta	fácil
3	300	0	muy alta	fácil
4	800	0	muy alta	fácil
5	400	0	muy alta	fácil
6	900	0	muy alta	fácil
7	1 000	0	muy alta	fácil
8	800	0	muy alta	fácil
9	900	0	muy alta	fácil
10	1 200	0	muy alta	fácil

dos productos diferentes en cuanto a su origen botánico, composición química y formas de obtención. La baba se localiza en el parénquima clorofílico del nopal verdura comercial, compuesta químicamente de agua, proteínas, lípidos, hidratos de carbono, calcio, vitamina C, carotenoides y su obtención es por extracción acuosa de la baba. El mucílago se localiza en el parénquima de almacén: tejido blanco, esponjoso o médula central del tronco, tallos, penca antiguas y se obtiene por disolución acuosa.

*Primera etapa experimental de trabajos de laboratorio*

A partir del trabajo de campo se observó que la recolección de mucílago tiene que ser en temporada de secas para prevenir la pudrición de la planta por los cortes hechos en tronco y tallos al contacto con la lluvia. La recolección y preparación de mucílago en fresco debe ser el mismo día —de lo contrario se corre el riesgo de tener una oxidación de color café— y por la mañana, para evitar el contacto de los ahuates dispersados de las plantas por el viento —que en la zona arqueológica de Teotihuacán por lo regular sopla después del mediodía.

La obtención de mucílago deshidratado en condiciones ambientales normales es muy difícil de controlar, pues debe removerse de manera constante para evitar oxidación y pudrición. Su obtención resulta más sencilla en el laboratorio, con el uso de platina de calentamiento a temperatura constante hasta la deshidratación.

Fase 1. Mediciones de pH, fluidez, formación de hilo, color y olor en dos variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF) y mucílago de tronco fresco (MTF) en diferentes volúmenes de 10 a 100 ml.

La liberación o dilución de la baba de nopal verdura fresco (BNVF) en agua destilada en 10 volúmenes diferentes, de 10 a 100 ml, con peso constante de 10 g, ocurrió en tres días con valores de pH, color y olor constantes, la fluidez baja en los volúmenes de 10 a 40 ml, media en 50 a 70 ml, y alta de 80 a 100 ml, idéntica a la fluidez del agua testigo. La formación de hilo generalmente es grueso a medio de 10 a 50 ml, medio en 90 ml y delgado en 70, 80 y 100 ml.

La disolución total del mucílago de tronco fresco (MTF) en agua destilada en 10 diferentes volúmenes de

10 a 100 ml a temperatura ambiente, a peso constante de 10 g de mucílago, ocurrió a los 20 días con los siguientes resultados: El pH ácido con valores de 4 a 6, la fluidez en su mayoría es media, formación de hilo de muy grueso a grueso-medio y delgado, el color viró de amarillento a blanco con olor a verdura.

Fase 2. Mediciones de cobertura, color, calidad, fluidez, formación de película y pH en cinco variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF), baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM), mucílago de tronco fresco (MTF), mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) y mucílago de tronco deshidratado (MTD) en diferentes porcentajes de 1 a 10%.

En la dilución de baba de nopal verdura fresco (BNVF) el color, la calidad de la película, la fluidez y el pH se mantuvieron constantes en los 10 porcentajes. La cobertura de la película se incrementó de 1% (112 mm<sup>2</sup>) a 6% (320 mm<sup>2</sup>) y decreció de 7% (210 mm<sup>2</sup>) hasta 10% (100 mm<sup>2</sup>).

En la dilución de baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM) el color, la calidad de la película, fluidez, formación de película, grosor de la película y pH se mantienen constantes con variación en la cobertura de 85 a 1 200 mm<sup>2</sup>, es decir se incrementó conforme al aumento de los porcentajes de la disolución de mucílago de penca fresca macerada.

En la disolución de mucílago de tronco fresco (MTF) los valores de cobertura de película fueron iguales de 350 mm<sup>2</sup> en los porcentajes 3 y 9%, 700mm<sup>2</sup> en 4 y 6%, siendo mayor en 5% con 750 mm<sup>2</sup> y menor en 1% con 150 mm<sup>2</sup>. El color, la calidad, formación de la película, fluidez, espesor de la película y pH se mantuvieron constantes.

En la disolución de mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) la cobertura de la película se incrementó en las proporciones de 1 a 5%, se mantuvo constante de 6 a 10%. En todos los porcentajes el color, la calidad y formación de la película se mantuvieron constantes. La fluidez fue de alta en 1-5%, con un pH de 7 y media en 6-10% con pH de 8.

En la disolución de mucílago de tronco deshidratado (MTD) la cobertura de película en los 10 porcentajes aumentó de 300 mm<sup>2</sup> a 1% sin formar película; 1 200 mm<sup>2</sup>

a 10%, con formación de película irregular gruesa, y entre 6 y 9% registraron el mismo valor de 900 mm<sup>2</sup>.

Los cuatro primeros porcentajes (1, 2, 3, 4%) son incoloros, de 5 a 8% son ligeramente amarillos y de 9 a 10% son color ámbar. La calidad de película se mantiene constante (transparente). La fluidez es alta en 1, 2, 3% sin formar película, sólo gotas; en 4% forma película irregular delgada, e irregular media en 7, 8 y 9%, fluidez media en 5, 6,7% y baja en 8, 9 y 10%. El pH en los 10 porcentajes tiene un incremento de 7.5 a 8.5 dentro del rango alcalino.

Fase 3. Mediciones de cobertura, contracción, adherencia y dureza en cinco variantes: baba de nopal verdura fresco (BNVF), baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM), mucílago de tronco fresco (MTF), mucílago de tronco fresco macerado (MTFM), y mucílago de tronco deshidratado (MTD) en porcentajes de 1 al 10%.

En la baba de nopal verdura fresco (BNVF) no se observó contracción de la película, hubo muy baja adherencia y resultó fácil de rayar.

En la baba de nopal verdura fresco macerado (BNVFM) no se observó contracción de la película, la adherencia resultó de muy baja a baja, y la dureza de muy fácil a fácil de rayar.

En mucílago de tronco fresco (MTF) no se observó contracción de la película, adherencia media en 1 a 6%, y de muy fácil a fácil de rayar. De 7 a 8% la adherencia es media pero difícil de rayar, y en 9-10% la adherencia es alta y muy difícil de rayar.

En mucílago de tronco fresco macerado (MTFM) no se observó contracción de la película, mostró baja adherencia y es fácil de rayar.

En mucílago de tronco deshidratado (MTD) no se apreció contracción de la película, mostró adherencia muy alta, pero fácil de rayar.

De las cinco variantes ensayadas, hasta el momento se pueden sacar las siguientes conclusiones: la baba de nopal en sus dos variantes, normal y macerada, tienen características físico-químicas idénticas, aunque la macerada implica mayor trabajo, razón por la cual seleccionamos baba de nopal verdura fresco (BNVF) para la siguiente etapa experimental de laboratorio con adobe y arcilla.

El mucílago de tronco fresco (MTF) en sus dos variantes, normal y macerado, tienen características físico-químicas idénticas, pero el macerado implica mayor trabajo para su obtención, por ello seleccionamos MTF en la siguiente etapa experimental de laboratorio con adobe y arcilla.

*Resultados de la segunda etapa experimental con tres variantes (MTF, MTD, BNVF) para conocer la absorción en el adobe (tabla 13)*

En el MTF las tres disoluciones (3, 7, 10%) tienen un valor constante de absorción en el adobe (1.8 g), por ello da lo mismo aplicarlo en porcentajes bajos (3%) que en altos (10%). Esto se repite para el MTD, aunque éste con menor valor de absorción: 1.2 g. La BNVF tiene valores menores de absorción (0.3 -0.7 g) en el adobe que las variantes MTF y MTD.

*Conclusión de la segunda etapa experimental de trabajo de laboratorio*

Las variantes y porcentajes con mayor absorción de baba y mucílago en los adobes son BNVF a 7%, MTF a 10% y MTD a 2%; por tanto, habría que constatar estos resultados en los adobes del muro en el cajón de relleno de la plataforma exterior oriente de la pirámide del Sol en Teotihuacán.

*Resultados de la tercera etapa experimental: experimentación practicada en los adobes del muro del cajón de relleno en la plataforma exterior oriente de la Pirámide del Sol (tabla 14)*

Las tres variantes son higroscópicas e impermeables, debido a que los adobes absorben el agua en un lapso de 2 a 13 segundos, frente a la absorción inmediata del adobe testigo, con expansión de película inmediata en MTD al 2%, sin expansión en BNVF al 7%, y MTF al 10% no forman película sobre la superficie del adobe, se raya fácilmente con raya gruesa con poca disgregación de material (MTD 2%), se rayan fácilmente sin disgregación de material (BNVF 7% y MTF 10%), las tres variantes

**Tabla 13. Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas con tres variantes y con tres porcentajes cada una: MTF (3, 7, 10%); MTD (2, 4, 6%) y BNVF (3, 7, 10%) aplicadas por aspersión en 27 muestras de adobes**

Variantes	Muestras de adobe	Absorción (g)	Promedio (g)
MTF a 3%	1 Pi =1.43.2g Pf =147.3g	4.1	1.8
	2 Pi =146.3g Pf =146.9g	0.6	
	3 Pi =141.6g Pf =142.6g	1.0	
MTF a 7%	4 Pi =147g Pf =148,4g	1.4	1.8
	5 Pi =136.5g Pf =138.1g	2.4	
	6 Pi =146.3g Pf =148.1g	1.8	
MTF a 10%	7 Pi =152.3g Pf =153.9g	1.6	1.8
	8 Pi =150g Pf =151.1g	1.1	
	9 Pi = 95.5g Pf = 98.2g	2.7	
MTD a 2%	10 Pi =123.3g Pf =124.3g	1.0	1.3
	11 Pi =123g Pf =124.5g	1.5	
	12 pi =117.3g Pf = 118.7g	1.4	
MTD a 4%	13 Pi =135g Pf = 136.1g	1.1	1.2
	14 Pi =128.5g Pf = 130.1g	1.6	
	15 Pi =113.3g Pf = 114.3g	1.0	
MTD a 6%	16 Pi =135.5g Pf = 136.8g	1.3	1.2
	17 Pi =144.7g Pf = 146.1g	1.4	
	18 Pi =130g Pf = 131.1g	1.1	
BNVF a 3%	19 Pi =138.5g Pf = 139.1g	0.6	0.5
	20 Pi =120.5gg Pf =121.1g	0.6	
	21 Pi =126.5g Pf = 126.9g	0.4	
BNVF a 7%	22 Pi =134.7g Pf =134.9g	0.2	0.7
	23 Pi =144.7g Pf = 145.3g	0.6	
	24 Pi =134.5g Pf = 135g	1.5	
BNVF a 10%	25 Pi =133g Pf = 133.3g	0.3	0.3
	26 Pi =148g Pf = 148.3g	0.3	
	27 Pi =138.6g Pf = 138.9g	0.3	

Pi=peso inicial  
Pf=peso final

**Tabla 14. Resultados de las pruebas experimentales con tres variantes (MTD al 2%, BNVF al 7% y MTF 10%) aplicados por aspersión**

Variante evaluada	MTD 2%	BNVF 7%	MTF 10%	Testigo
Absorción de una gota de agua	2 segundos	13 segundos	12 segundos	inmediata
Expansión de la gota de agua	inmediata	no	no	inmediata
Formación de la película en superficie	No	no	no	no
Resistencia al rayado	se raya fácilmente: raya gruesa con poca disgregación de material	se raya fácilmente: sin disgregación de material	raya fina sin disgregación de material	raya gruesa con mucha disgregación
Dureza	media	media	media	muy baja
Aspecto superficial del adobe	igual al testigo	igual al testigo	igual al testigo	original

⋮

**Tabla 15. Resultados de las pruebas experimentales de tierra de relleno tratadas con seis disoluciones de mucílago de tronco deshidratado MTD: 2%, 4%, 6%, 2+4%, 2 + 6%, 2+ 4 + 6%**

Variable evaluada	MTD 2%	MTD 4%	MTD 6%	MTD 2 + 4 %	MTD 2 +6%	MTD 2+ 4 +6%	Testigo
Absorción de agua	1.48 1.88 2.18	2.02 1.82 1.78	3.07 2.01 4.50	4.30 3.37 4.20	3.12 2.45 7.06	2.40 2.56 1.98	inmediata
Expansión de gota	inmediata	inmediata	media	media	media	inmediata	inmediata
Formación de película	no hay	no hay	no hay	no hay	no hay	no hay	
Resistencia al rayado	raya fina, poca disgregación	raya media con disgregación	raya fina con poca disgregación	raya fina con poca disgregación	raya media con disgregación	raya fina con poca o nula disgregación	mucha disgregación
Dureza	baja	baja	alta	alta	media	alta	muy baja
Color de la superficie	idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	crema-blancuecino
Aspecto superficial	idéntico al testigo	idéntico al testigo	Idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	idéntico al testigo	irregular, poroso poco compacto

son de dureza media, de aspecto superficial idéntico al testigo (tabla 15)

Las seis disoluciones de mucílago de tronco deshidratado MTD: 2%, 4%, 6%, 2+4%, 2 + 6%, 2+ 4 + 6% son higroscópicos, debido a que absorben el agua en tiempos de 1 a 7 segundos e impermeables, en comparación con la absorción inmediata de la tierra testigo, con expansión de película inmediata al 2%, 4%, 2+ 4+6%, media en 6%, 2+ 4, 2+6% no forman película sobre la superficie, se raya fácilmente con raya fina con poca disgregación de material en 2%, 6,%, 2+4, 2+4+6%, media con disgregación de material, dureza baja en 2%, 4%, media en 2+6%, alta en 6% 2+4, 2+4+6%, las seis variantes de aspecto superficial idéntico al testigo.

#### *Conclusiones de la tercera etapa experimental de trabajo de campo*

Las tres variantes (MTD 2%, BNVF 7%, MTF 10%) son higroscópicos e impermeables al agua, sin expansión de película en BNVF al 7% y MTF al 10%, con expansión inmediata en MTD al 2%; no forman película sobre la superficie del adobe, se raya fácilmente con raya gruesa con poca disgregación de material (MTD 2%); se rayan fácilmente sin disgregación de material (BNVF 7% y MTF 10%), y las tres variantes son de dureza media, de aspecto superficial idéntico al testigo.

Las seis disoluciones de mucílago de tronco deshidratado MTD (2%, 4%, 6%, 2+4%, 2 + 6%, 2+ 4 + 6%) son higroscópicas, con expansión de película inmediata al 2%, 4%, 2+ 4+6%, media en 6%, 2+ 4, 2+6%; no forman película sobre la superficie del adobe, se raya fácilmente con raya fina con poca disgregación de material en 2%, 6,%, 2+4, 2+4+6%, media con disgregación de material, dureza baja en 2%, 4%, media en 2+6%, alta en 6% 2+4, 2+4+6%, las seis disoluciones de MTD son de aspecto superficial idéntico al testigo.

#### **Conclusiones generales**

**E**l nopal verdura comercial procede de dos especies cultivadas: *Opuntia ficus indica* y *Opuntia amyclaea*, y ambas se puede comprar en centrales de abasto y mercados para extraer de forma tradicional la baba del nopal verdura

fresco (BNVF). En nuestro caso se eligieron nopales de la segunda especie para extraer la baba de la siguiente manera, sobre una tabla, con el auxilio de guantes de hule de uso doméstico, se pelaron para quitar las espinas, se cortaron en pequeños cuadros y se colocaron en un recipiente de plástico con agua potable al 7%, o 70 g / 1 litro, fueron tapados, se removieron con un palo durante tres días, se colaron para separar los residuos de nopales y se obtuvo una baba transparente.

El mucílago de tronco fresco (MTF) se obtuvo de nopal tuna blanca (*Opuntia amyclaea*), de los tallos de cualquier especie de nopal arborescente de forma silvestre y abundante en la localidad, ya sea *Opuntia streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *Opuntia sarca*, o bien de nopal cultivado como *Opuntia ficus indica*, *Opuntia amyclaea* y *Opuntia robusta*.

El método tradicional de obtener el mucílago del nopal es comprar los tallos en la huerta de los nopales cultivados, o recolectarlos de común acuerdo con ejidatarios y comuneros de los nopales silvestres en sus comunidades.

Con el personal de la obra se acude a los cerros y con auxilio de machete, hacha y guantes de carnaza, seleccionamos los nopales con altura aproximada de 3 m y muchas ramas para poda; se cortaron los tallos de las ramas, dejando el tronco principal para que genere más retoños. Para preparar pequeñas cantidades, se pelaron los tallos para quitar espinas y corteza, se cortaron en pequeños trozos de 30 cm y se partieron para evidenciar el mucílago; éste se recolectó con el auxilio de un cuchillo, se colocó en bolsas de plástico y se transportó a su destino. Para la preparación del mucílago de tronco fresco (MTF) al 10%, se pesaron 100 g por litro de agua potable, fueron colocados en recipiente de plástico con agua potable, fueron tapados, se removieron con un palo de madera durante 20 días y se colaron en coladores plásticos domésticos, para separar residuos de fibras leñosas de la disolución gelatinosa y pegajosa.

La recolección del mucílago debe ser en temporada de secas y por la mañana, antes de que sople el viento para evitar la dispersión de los aguates que pueden dañar ojos y piel. El personal recolector debe estar protegido con camisola de mangas largas, pantalón de mezclilla y botas de campo. Por otro lado, así se conserva la planta al evitar que se pudra el tronco principal por los cortes

hechos en los tallos, y así se coadyuva en la reproducción vegetativa de nuevos brotes.

El mucílago de tronco deshidratado (MTD) al 2% en agua potable se preparó de la siguiente manera: el mucílago fresco lo cortamos en pequeñas hojas muy delgadas, colocadas en charolas de laboratorio, lo secamos al sol durante 5-10 días con remoción diaria hasta su deshidratación casi total.

El mucílago deshidratado se pesó en una balanza, se colocó en un recipiente de plástico con agua potable a disolución, se tapó, se removió diariamente con una cuchara hasta su disolución, se coló con un colador doméstico de malla fina de plástico, para separar los residuos de fibras leñosas del mucílago gelatinoso pegajoso.

Para preparar pequeñas cantidades, por ejemplo para un litro, se pesaron 20 g de mucílago deshidratado, se dejó en el recipiente con agua, se tapó, se removió diariamente hasta su disolución en 14 días, se coló y se obtuvo el mucílago gelatinoso, pegajoso.

Con base en la revisión y análisis bibliográfico, la baba y el mucílago de nopal son de origen muy diferente: la baba se localiza en el parénquima clorofílico del nopal verdura, químicamente está compuesta de agua, proteínas, lípidos, hidratos de carbono, calcio, vitamina C, carotenoides. El mucílago se localiza en el parénquima de almacén: tejido blanco, esponjoso o médula central del tronco, tallos y cladodios o pencas antiguas. Se obtiene por recolección en los cerros de las comunidades rurales,

se prepara únicamente el mucílago y la extracción se da por disolución acuosa.

El trabajo experimental de laboratorio abarcó dos etapas; la primera consideró tres fases de desarrollo.

En la fase 1 se realizaron las mediciones de pH, fluidez, formación de hilo, color y olor en dos variantes: BNVF y MTF, en diferentes volúmenes de 10 a 100 ml.

En la fase 2 se midieron cobertura, color, calidad, fluidez, formación de película y pH en cinco variantes: BNVF, BNVFM, MTF, MTFM y MTD en diferentes porcentajes de 1 a 10%.

En la fase 3 se realizaron las mediciones de cobertura, contracción, adherencia y dureza en las mismas cinco variantes: BNVF, BNVFM, MTF, MTFM y MTD, en porcentajes diferentes de 1 a 10%.

La segunda etapa experimental de trabajo de laboratorio se realizó con tres variantes y tres porcentajes cada una: MTF (3, 7, 10%), MTD (2, 4, 6%) y BNVF (3, 7, 10%) aplicadas por aspersión en un total de 27 muestras de adobes.

El trabajo experimental de campo abarcó dos etapas de desarrollo; la primera consideró tres variantes y un porcentaje: MTD al 2%, BNVF al 7% y MTF al 10%, aplicados por aspersión estabilizan la superficie deleznable de los adobes. La segunda consideró una variante (MTD) con seis proporciones: 2%, 4%, 6%, 2+4%, 2 + 6%, 2+ 4 + 6%, aplicadas por aspersión estabilizan la superficie deleznable del relleno de tierra.

