

Valoración inicial de las propiedades de la goma de nopal como posible aditivo en la conservación de edificaciones de adobe

[Go to English version](#)

DOI: 10.30763/Intervencion.264.v1n25.43.2022 · AÑO 13, NÚMERO 25: 161-180

Postulado: 21.07.2021 · Aceptado: 20.05.2022 · Publicado: 28.12.2022

Juana María Miranda Vidales

Facultad del Hábitat, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México

jmiranda@uaslp.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8193-7035>

Lilia Narváez Hernández

Facultad del Hábitat, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México

narvaezl@uaslp.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-0310>

Josué Moreno Fraga

Centro INAH Zacatecas, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México

josue_moreno@inah.gob.mx | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9263-7652>

Corrección de estilo por Alejandro Olmedo

RESUMEN

El presente ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN expone una posible aplicación de la goma de nopal (*Opuntia ficus*) como aditivo para favorecer la durabilidad de los adobes y que puedan emplearse en la conservación del patrimonio arquitectónico. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio en especímenes cúbicos de tierra. Durante la preparación de las mezclas se adicionaron distintas concentraciones de goma de nopal previamente deshidratada y pulverizada. Mediante análisis de retención de humedad, capilaridad y resistencia a la compresión se evaluaron las muestras; los resultados demuestran que la adición de goma de nopal incrementa la resistencia a la compresión y reduce la capilaridad de los especímenes estudiados: de hecho, se logró mantener la cohesión de las partículas en los especímenes durante su exposición a medios húmedos. Haber obtenido tal comportamiento en las propiedades de dichos especímenes hace viable esta sustancia para su utilización en la conservación de edificaciones de adobe.

PALABRAS CLAVE

goma de nopal, tierra, capilaridad, resistencia a la compresión, cohesión

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios el ser humano empleó los recursos disponibles en la naturaleza para satisfacer sus necesidades básicas; al inicio, por sus patrones de caza y recolección, era nómada, de manera que requería refugios temporales, como grutas y cavernas, para cobijarse (Bardou y Arzoumanian, 1979, p. 23). Más adelante, con la implantación de la vida sedentaria, surgió la necesidad de crear nuevos sistemas de construcción, en algunos de los cuales el adobe ha sido desde ese entonces de los materiales más predominantes. Está constituido principalmente por una mezcla de tierra (tierra, limo, arcilla), agua y algunos materiales como aditivos; también puede contener otros, de refuerzo, como fibras vegetales.

En México hay ejemplos de asentamientos prehispánicos muy significativos; en la región árida, en el estado de Chihuahua, destaca la ciudad de Paquimé, cuyo apogeo ocurrió entre los siglos *xiv* y *xv*. Es reconocida por sus construcciones con gruesos muros de adobe dentro de una traza urbana laberíntica (UNESCO, 1998). A pesar de que en el área tropical de México la precipitación media anual es elevada y los vientos del norte azotan fuertemente la costa, el empleo de adobe como material de construcción está presente en por lo menos 132 sitios arqueológicos del centro-sur de Veracruz (Daneels y Guerrero, 2013, p. 35).

Uno de los problemas más importantes, ya sea debidos a causas intrínsecas o extrínsecas, en edificaciones erigidas a base de adobe es la falta de solidez de los materiales. En la actualidad la preocupación por preservar o restaurar todos los vestigios que han dejado culturas ancestrales trae como consecuencia una serie de propuestas o alternativas, como materiales consolidantes que buscan la cohesión mecánica superficial a través de la reintegración de sus partículas; materiales aglutinantes que permitan mantener una unión homogénea de las partículas de adobe o, incluso, una sustitución parcial de las piezas de adobe con otras de características muy similares a la original (Figura 1).

En sistemas constructivos, en general los aditivos son referidos como productos de origen natural o sintético que, agregados en pequeñas cantidades antes o durante el proceso de mezclado, tienen la capacidad de mejorar la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la durabilidad de las estructuras en condiciones cli-

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

FIGURA 1. Vestigios de muro con aplanado a base de tierra en la zona arqueológica La Quemada, Zacatecas (Fotografía: Josué Israel Moreno Fraga, 2020; cortesía: Centro INAH Zacatecas).



máticas extremas. A lo largo de la historia han variado los aditivos y, por lo mismo, las técnicas para emplearlos nunca han sido estáticas; así, se han utilizado con diferentes propiedades: estabilizantes, consolidantes, adhesivas, aglutinantes, etcétera (Veiga, 2017, p. 136; Ventola *et al.*, 2011, p. 3315). El hombre siempre ha recurrido a la utilización de los materiales que tiene a su alrededor, así el uso de gomas vegetales, resinas de árboles, miel (Barba y Villaseñor, 2013, p. 106), almidón de arroz (Pacheco, 2014, p. 154), extractos de hojas y tallos de malva (Pinta, 2022, p. 8).

Algunas de las principales ventajas de usar materiales naturales a base de vegetales son las siguientes: son biodegradables (se descomponen biológicamente en elementos naturales sin dañar el medio ambiente), no son tóxicos, son de bajo costo, son recursos renovables, presentan disponibilidad local, por mencionar algunas (Jani *et al.*, 2009, p. 309).

Actualmente los procesos de restauración en elementos de zonas arqueológicas y edificios virreinales en México emplean, para mejorar sus propiedades, aditivos en adobes. El uso de esos materiales se debe ajustar a los lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural establecidos por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH, 2014).

El mucílago y la goma son productos de origen fisiológico de la cactácea del género *Opuntia* comúnmente denominada *nopal*. El primero, de origen metabólico, se forma dentro de la célula y se produce sin dañar a la planta, mientras que el segundo se considera producto patológico, formado después de que la planta ha sufrido

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

do un daño debido a condiciones desfavorables, como la sequía, o a una ruptura de las paredes celulares (formación extracelular; gomosis), lo que provoca la descomposición de la celulosa (Prajapati *et al.*, 2013, p. 1686). Por otro lado, el insecto denominado *picudo barrenador del nopal* (*Cactophagus spinolae*) es considerado una plaga que ataca el cuerpo de la planta, que también puede causar en ésta el desarrollo de la goma: en ningún caso es reabsorbida por los tejidos vegetales (Lobos *et al.*, 2013, p. 151).

Éstas son algunas de las similitudes que tienen los mucílagos y las gomas: son sustancias hidrocoloides, amorfas, translúcidas y contienen monosacáridos, muchos de los cuales se combinan con ácidos urónicos. Unos y otras contienen, asimismo, moléculas hidrófilas, que pueden combinarse con agua para formar soluciones viscosas o geles (Jani *et al.*, 2009, p. 309).

El mucílago de nopal está constituido por heteropolisacáridos de alto peso molecular (D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa y D-xilosa), con propiedades coloidales, que se hinchan y se disuelven exclusivamente en agua caliente. La goma de mucílago es insoluble en disolventes orgánicos, alcoholes y éter, y al hidrolizarse se descompone en determinados ácidos orgánicos complejos, además de pentosas y hexosas (Medina-Torres *et al.*, 2000, p. 419).

Recientes investigaciones se han enfocado en explicar el comportamiento del mucílago de nopal en los sistemas constructivos. Rodríguez-Navarro *et al.* (2017) y Pérez *et al.* (2015) estudiaron la incorporación de esa sustancia en la formulación de morteros de cal, y encontraron una mejoría en la plasticidad de las pastas y un buen comportamiento ante la erosión de dichos morteros.

Pérez *et al.* (2021) adicionaron pectina de nopal a morteros de cal, mejorando la plasticidad de la masa y reduciendo el agrietamiento y la absorción por capilaridad durante el secado, además de que obtuvieron un incremento en la resistencia mecánica. Jáidar (2006) utilizó extractos de vegetales en morteros de cal, y encontró que la aplicación del aditivo después de hidratar la cal es más efectiva, ya que se reduce la absorción capilar y la permeabilidad al vapor de agua. Algunas investigaciones realizadas en adobes son: Guillen *et al.* (2019) adicionaron mucílago de nopal en mezclas de tierra-agua-celulosa, que observaron buen comportamiento mecánico y reducción en la absorción de humedad; Medina *et al.* (2015) utilizaron gomas vegetales en adobe: como resultado, se redujo la permeabilidad al vapor de agua y se incrementó la resistencia a la abrasión; antes de la aplicación del mucílago de nopal en adobes erosionados, Martínez-Camacho *et al.* (2008) emplearon una solución de alcohol/agua con la que se redujo la tensión superficial

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

y se mejoró la difusión del mucílago en el adobe, y Torres *et al.* (2015) asperjaron esa sustancia en superficies de adobe, logrando estabilizar la superficie deleznable.

Aun cuando son varios los trabajos encontrados sobre el mucílago de nopal como aditivo en los sistemas constructivos y, específicamente, en el patrimonio arquitectónico de adobe, es importante ampliar el conocimiento en función de la aplicación de la goma de nopal, ya que, se cree, puede tener una composición química muy similar al mucílago de nopal.

El objeto de este trabajo consiste en realizar análisis de las propiedades fisicoquímicas de la goma de nopal y, evaluando la resistencia mecánica, de su comportamiento como aditivo a diferentes concentraciones en especímenes de tierra cruda comprimida, con la finalidad de establecer una metodología estandarizada y sistematizada que sirva como referencia para su posible uso en procesos de conservación arquitectónica de adobe y demás sistemas constructivos.

METODOLOGÍA

En este apartado se exponen los materiales, la elaboración de especímenes de tierra cruda comprimida y las técnicas de análisis utilizados en esta investigación.

Materiales

Tierra (tierra, limo, arcilla)

En la elaboración de los especímenes de tierra se utilizó una tierra procedente de San Luis Potosí, México. Para conocer su plasticidad se determinaron los límites de Atterberg (medida que define la consistencia de un suelo en relación con su contenido de agua) de acuerdo con la Norma ASTM D4318-05 (2005), y se encontraron los siguientes valores: 29 para el límite líquido (LL), 15 para el límite plástico (LP) y 14 para el límite de plasticidad (IP), los cuales indicaron que aquélla corresponde a una tierra inorgánica de baja plasticidad y es utilizable como material de construcción (MMP-1 02/03, 2003). El tamaño de partícula de la tierra: por debajo de 0.8 mm, se determinó mediante las normas ASTM C136-01 (2017) y ASTM C117-95 (1995).

El contenido de humedad óptimo para la correcta compactación de la tierra se determinó mediante la prueba Proctor, de acuerdo con la Norma ASTM D698-12 (2021), y se obtuvo un valor óptimo

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
 JANUARY-JUNE 2022

de humedad de 16.6%, con densidad de 1.9 g/cm³. Con base en todos esos resultados, se diseñó la mezcla de las muestras de tierra que se requerían para el estudio.

Goma de nopal

La goma de nopal *Opuntia ficus indica* se recolectó en el municipio de Armadillos de los Infante, San Luis Potosí, México (Figura 2).

FIGURA 2. Proceso de recolección de la goma de nopal *Opuntia ficus indica* (Fotografía: Josué Israel Moreno Fraga, 2020).



Se hizo limpieza superficial de la goma, eliminando los residuos del cladodio. Posteriormente, la goma se deshidrató mediante un proceso de secado en un horno marca Felissa®, a una temperatura de 100 °C, hasta alcanzar un peso constante. La goma seca se trituró y molió en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino y homogéneo. En la figura 3a se muestra la goma de nopal extraída del cladodio, y en la figura 3b se aprecia el polvo de ésta obtenido después del proceso de secado. La goma en polvo se colocó en un recipiente hermético y después se llevó a un desecador para evitar la absorción de humedad del medio ambiente. Para la identificación de los grupos funcionales presentes en la goma se realizó un análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) en el equipo Nicolet™ iS™ 10 de Thermo Scientific, en el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Obtener una goma en polvo y completamente deshidratada permite preparar con precisión soluciones a diferentes concentraciones.

Intervención

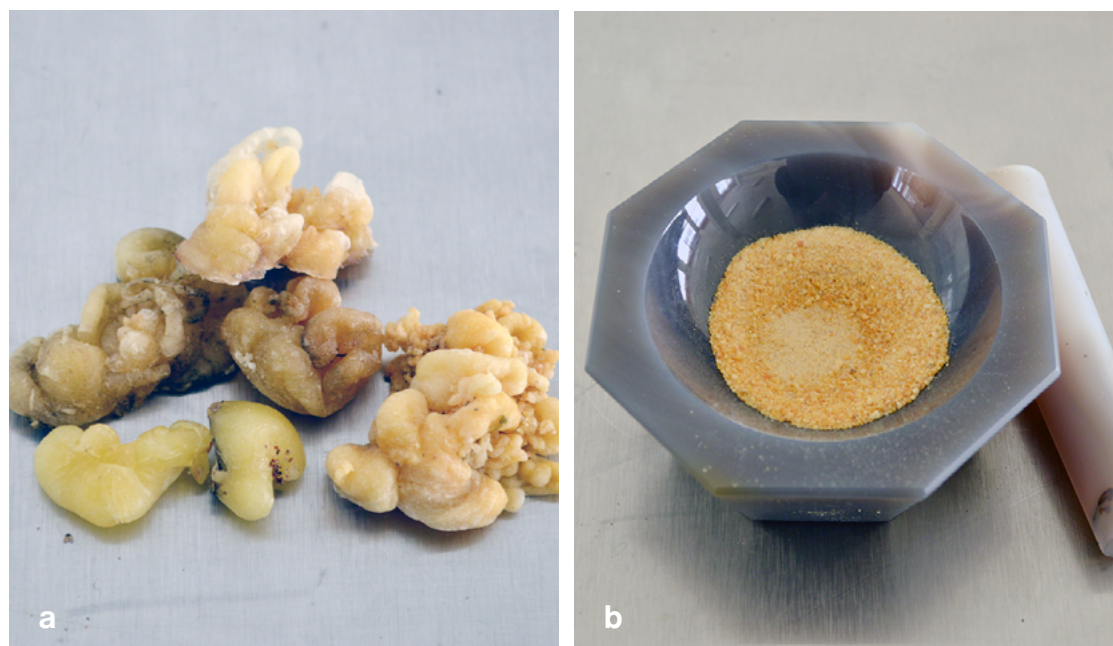
ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

FIGURA 3a. Estado natural de la goma de *Opuntia ficus indica*. 3b. Polvo de goma obtenida después del proceso de secado (Fotografía: Josué Israel Moreno Fraga, 2020).

La preparación de soluciones se llevó a cabo mediante un proceso de hidratación de la goma en polvo, que consistió en disolver éste en agua, a una temperatura de 90 °C, manteniendo una constante agitación durante seis horas para asegurar su completa disolución (Figura 4), con lo que se rehidrató la goma de nopal, garantizando la disolución de los azúcares en el medio acuoso y obteniendo una solución con las características y propiedades físico-químicas de una goma fresca, en su estado natural.

FIGURA 4. Proceso de hidratación del polvo de goma de nopal *Opuntia ficus indica* (Fotografía: Josué Israel Moreno Fraga, 2020).



Se prepararon tres soluciones, con 6%, 9% y 12% en peso de goma de nopal. El pH de cada una de ellas para la preparación de los especímenes de tierra se determinó con un potenciómetro Hanna® calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7, a 25 °C de temperatura.

Preparación de especímenes de tierra

Se realizaron especímenes cúbicos de tierra —con dimensiones de 5 × 5 × 5 cm— sin y con adiciones de 1%, 1.5% y 2% de goma de nopal y 16.6% de agua respecto del peso de la tierra, de acuerdo con la norma ASTM D698-12 (2021). Los porcentajes de goma utilizados equivalen a 6%, 9% y 12% en peso respecto del contenido de agua del espécimen sin adición de goma de nopal, el cual se tomará como espécimen de referencia. Previamente, la goma de nopal se disolvió en la cantidad de agua requerida para la mezcla, a 90 °C, con agitación constante durante 6 horas. Después de 24 horas se desmoldaron los especímenes y tuvieron un tiempo de secado (curado) de 28 días a temperatura ambiente.

Evaluación de las propiedades físicas de los especímenes de tierra

Se evaluó la pérdida de peso durante el proceso de secado de los especímenes con adiciones de goma de nopal con mediciones de las diferencias en peso de las probetas respecto del tiempo, hasta alcanzar un peso constante, las cuales se llevaron a cabo en condiciones de laboratorio (temperatura ambiente de 25 °C y 50% de humedad relativa). El índice de capilaridad de los especímenes de tierra se determinó de acuerdo con la norma UNE-EN-772-11 (2011); su resistencia a la compresión se evaluó a los 28 días de secado (curado) en una máquina universal Shimadzu UH-600 kNI (60 t) del Laboratorio de Materiales de Construcción (Lamac) de la Facultad de Ingeniería de la UASLP, a una velocidad de 1.5 kg/cm². Las pruebas para las probetas de adobe se practicaron por triplicado, con las distintas concentraciones de goma.

La preparación y caracterización de muestras así como todos los ensayos, con excepción de los que ya se han indicado en el texto, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Procesos Químicos de la Facultad del Hábitat de la UASLP.

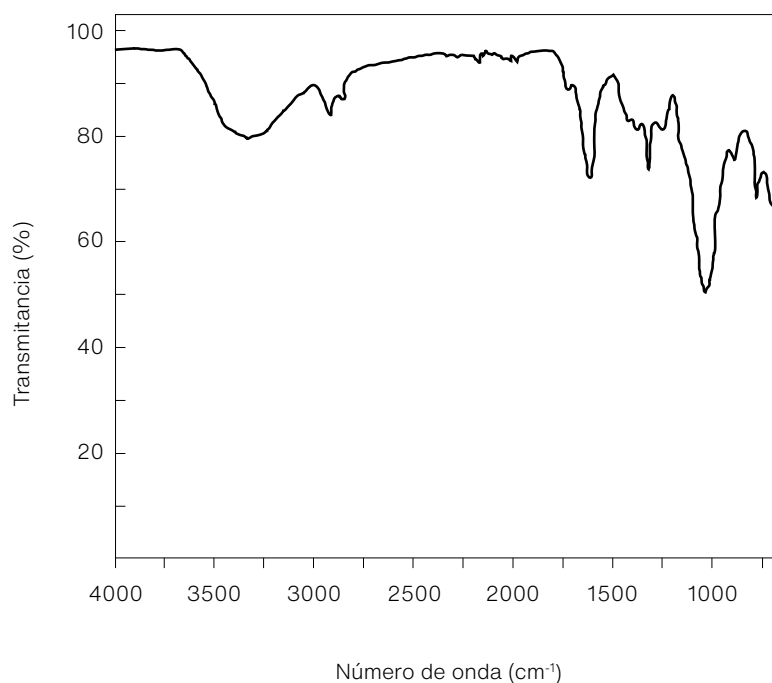
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se hace una breve descripción de los resultados obtenidos, que incluye una discusión de cada uno de ellos.

Composición química de la goma de nopal

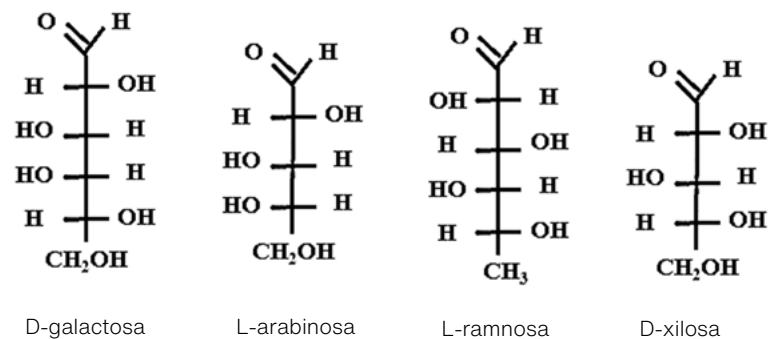
La Figura 5 muestra el espectro de FTIR de la goma de nopal, donde se aprecian las bandas características de los grupos funcionales presentes: las localizadas entre 3 470 y 3 130 cm^{-1} corresponden a la vibración de los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$); estas vibraciones se atribuyen al enlace de hidrógeno presente en los alcoholes y el ácido carboxílico; la posición en 2 929 cm^{-1} se atribuye al estiramiento de los enlaces $-\text{CH}$ presentes en la piranosa y en el glucósido $-\text{COCH}_2$ (Gheribi *et al.*, 2018, p. 208). Las bandas ubicadas a 1 730 cm^{-1} y 1 620 cm^{-1} se asocian con el grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), y la banda en 1 425 cm^{-1} está relacionada con la vibración simétrica del grupo ($\text{COO}-$), presente en la estructura de la goma, grupos funcionales atribuidos a la presencia de monosacáridos y residuos del ácido. Por último, las bandas entre 900 y 1 200 cm^{-1} se atribuyen a la región conocida como la *huella de los polisacáridos* (Razavi *et al.*, 2014, p. 460).

FIGURA 5. Espectro infrarrojo de la goma de nopal *Opuntia ficus indica* (Esquema: Juana María Miranda, 2021; cortesía: Laboratorio de Ciencias Ambientales-Facultad de Ingeniería-UASLP).



La presencia de estos grupos funcionales en la goma de nopal corrobora que su composición química está basada principalmente en azúcares compuestos por monosacáridos —los cuales pueden ser muy similares o iguales a los reportados en el mucílago del nopal—, como son la galactosa, la arabinosa, la xilosa, la ramnosa de diferente estructura (Figura 6), mencionados en el párrafo anterior. Es importante mencionar que existe poca información acerca de la composición química de la goma de nopal, sin embargo, dado su origen, es muy probable que su composición sea muy similar a la del mucílago de nopal.

FIGURA 6.
Estructuras de los
monosacáridos
presentes en la
goma de nopal
Opuntia ficus indica
(Esquema: Juana
María Miranda, 2021;
cortesía: Facultad del
Hábitat-UASLP).



El pH de la fase acuosa de los especímenes de tierra registró valores aproximados a 3.5, ubicándolos en un pH de carácter ácido, esto es, ligeramente más ácidos que los encontrados en trabajos previos al emplear mucílago de nopal (Torres *et al.*, 2015, p. 102). El carácter ácido de las gomas puede presentar algunas pequeñas variaciones debido a factores como el grado de madurez del nopal, a condiciones del suelo, al uso de fertilizantes, al clima, la humedad, etcétera (Nazareno, 2013, p. 96).

Comportamiento físico de los especímenes de tierra

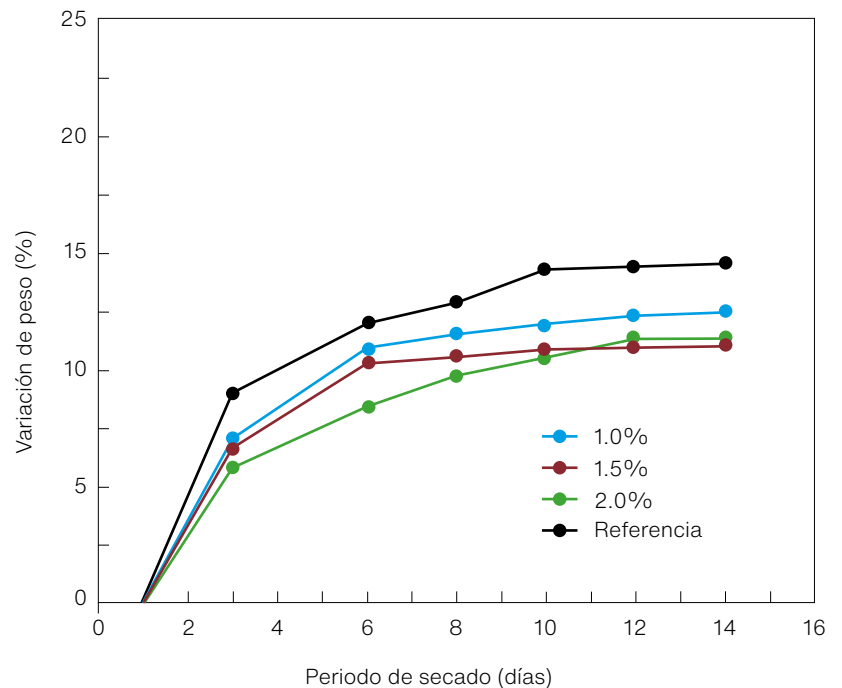
En la Figura 7 se aprecia la pérdida de peso durante el proceso de secado de los especímenes de tierra sin y con goma de nopal: véase que, al tercer día de secado, la pérdida de humedad en el espécimen de referencia es de 9%, mientras que los especímenes de tierra con goma de nopal perdieron aproximadamente 6.5%. A los seis días, los especímenes de tierra con goma experimentalon una pérdida de humedad entre 8% y 10%; cabe mencionar que el espécimen que tiene un porcentaje mayor de goma (2%) presenta el valor más bajo de pérdida de humedad, mientras que el espécimen de referencia mostró una pérdida de 12%. A los 10 días del ensayo, los especímenes con goma pierden entre 10% y

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

12% de humedad, mientras que el espécimen de referencia alcanza una pérdida de 14.5%. Estas diferencias entre los especímenes de referencia y los que tienen goma continúan así hasta alcanzar los 14 días, fecha en que las pérdidas tienden a ser constantes. Ese comportamiento se puede atribuir a la composición química de la goma, ya que, al ser un polímero de alto peso molecular, crea redes de gel internas en las que se retiene el agua y, por lo tanto, se ve reducido su transporte al exterior (Khachatoorian *et al.*, 2003, p. 20). Esa ligera retención de humedad, favorecida por la goma de nopal presente en los especímenes, en los primeros días hace más lento el proceso de secado, lo que podría propiciar menor formación de grietas durante ese proceso. Además, aumenta la plasticidad de la pasta, facilitando la aplicación en forma de capas durante los procesos de reposición de faltantes, acabados superficiales, rellenos, etcétera.

FIGURA 7. Variación de peso de especímenes de tierra con goma de nopal al 1%, 1.5% y 2% en peso (Esquema: Lilia Narváez Hernández, 2021; cortesía: Facultad del Hábitat-UASLP).



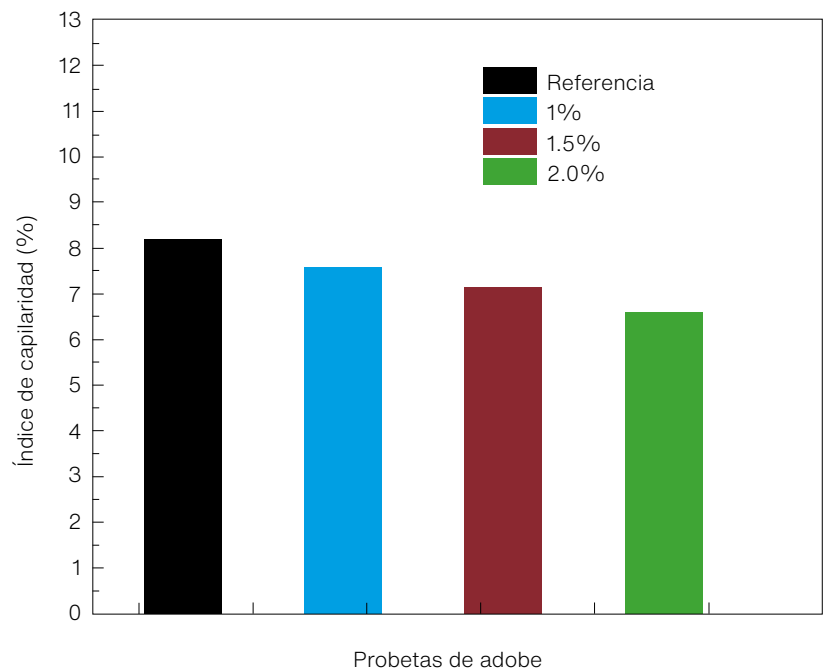
En la Figura 8, con los índices de capilaridad obtenidos en los especímenes sin y con adiciones de goma, se observa que las variaciones de esos índices de los tres especímenes adicionados con goma (1%, 1.5% y 2% en peso) son menores en comparación con el espécimen de referencia. Aunque esa diferencia es mínima, se alcanza a advertir, cuanto mayor es el contenido de goma, un ligero decremento del índice de capilaridad.

Los hidrogeles presentes en los especímenes de tierra debidos a la presencia de la goma de nopal presentan una estructura vítrea

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

FIGURA 8. Índice de capilaridad de especímenes de tierra con y sin adiciones de goma de nopal de 1%, 1.5% y 2% a 28 días de curado (Esquema: Lilia Narváez Hernández, 2021; cortesía: Facultad del Hábitat-UASLP).



durante los primeros siete días de secado y, por lo tanto, proporcionan la resistencia necesaria contra la entrada de humedad ocasionada por la acción capilar, lo que genera una disminución de la absorción de agua y, por consiguiente, la reducción del índice de capilaridad (Muguda *et al.*, 2017, p. 312).

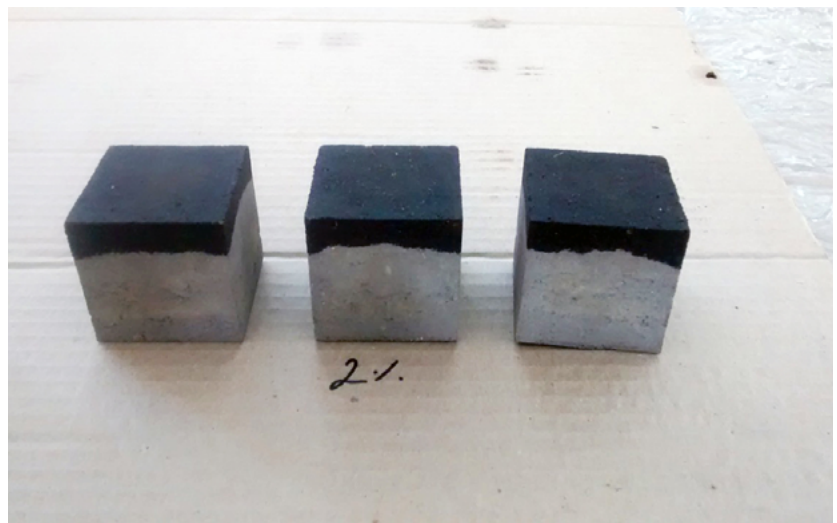
En la Figura 9 se observan los especímenes de tierra con 2% de goma de nopal durante el ensayo de capilaridad. Se aprecia que el grado de absorción del agua es muy semejante en las tres probetas ensayadas a esta concentración, después de haber sido expuestas en agua durante 10 minutos. Cabe hacer notar que la sección húmeda de la probeta está intacta y no sufrió pérdidas de tierra durante el ensayo, lo que prueba la eficacia de la goma de nopal para mantener la cohesión entre las partículas de tierra cuando están expuestas a un medio húmedo agresivo (Lemboye *et al.*, 2021, p. 2).

En la Figura 10 se exponen los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes sin y con adiciones de goma de nopal después de 28 días de secado (curado). Se observa un incremento de la resistencia a la compresión conforme aumenta el contenido de goma de nopal, con porcentajes de 12.5% con 1% de goma, 20% con 1.5% de goma y 25% con 2% de goma, comparados con la resistencia del espécimen de referencia. Como puede advertirse, los especímenes de tierra adicionados con 2% en peso de goma mostraron los valores de mayor resistencia a la compresión, lo que indica que a mayor cantidad de

Intervención

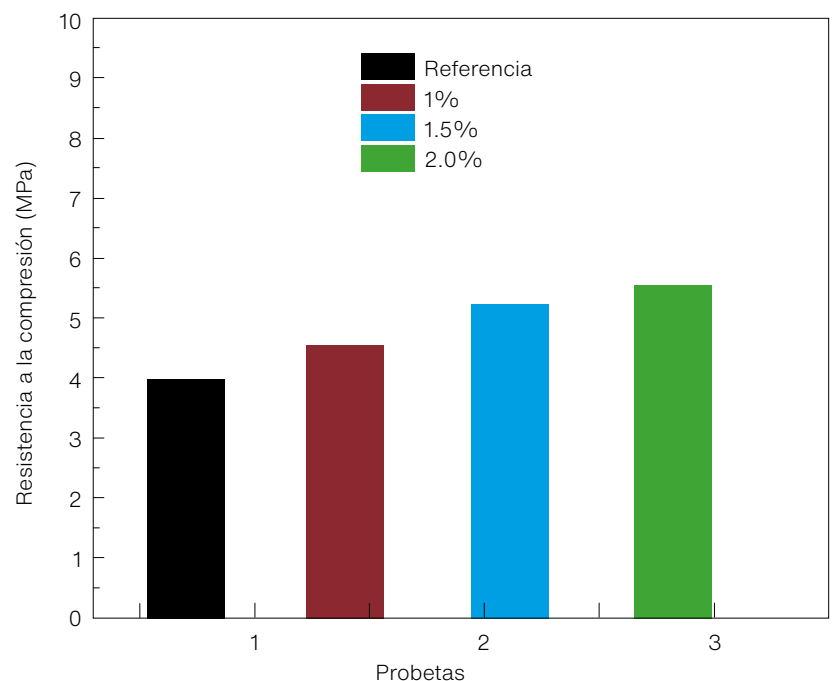
ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

FIGURA 9. Aspecto superficial de especímenes de tierra con 2% de goma de nopal después del ensayo de capilaridad (Fotografía: Josué Israel Moreno Fraga, 2020).



goma en la mezcla de tierra, se favorecen las propiedades mecánicas. La presencia de los polisacáridos contenidos en la goma de nopal *Opuntia ficus* en la mezcla de las tierras induce la adhesión entre las partículas de la tierra, como ya se había mencionado anteriormente, en la Figura 7; la lenta disminución en la pérdida de humedad de los especímenes de tierra, además de apoyar la trabajabilidad, causa un secado lento, el cual evita la pérdida abrupta de humedad y propicia una adecuada cohesión de los materiales. Chang *et al.* (2016) mencionan que la presencia de las gomas ayuda a la aglomeración entre las partículas de las tierras por medio de una cohesión inducida derivada de la presencia del hidrogel, que varía con las condiciones de humedad de la mezcla.

FIGURA 10. Resistencia a la compresión de especímenes de tierra con y sin goma de nopal a 28 días de curado (Esquema: Lilia Narváez Hernández, 2021; cortesía: Facultad del Hábitat-UASLP).



CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO

El proceso de obtención y secado de la goma de nopal resultó eficiente y adecuado, ya que fue posible obtener una goma en polvo seca sin que se modificaran sus propiedades fisicoquímicas. Esto permitió conservarla y facilitar su uso como aditivo durante periodos prolongados (seis meses). Además, el proceso de rehidratación de la goma en polvo resultó viable y efectivo para su empleo en solución.

La composición química de la goma de nopal en función del análisis de FTIR permitió establecer la presencia de grupos funcionales pertenecientes a los monosacáridos, que forman las cadenas de los biopolímeros presentes en la goma de nopal, a los que se le atribuyen las características fisicoquímicas de ésta. Los grupos funcionales son muy similares a los presentes en el mucílago de nopal; sin embargo, se requiere emplear otro tipo de técnicas analíticas, como cromatografía, resonancia magnética nuclear y espectrometría de masas, que permitan precisar el tipo de sacáridos presentes. Existen reportes de análisis químicos respecto del mucílago y la baba del nopal, mas todavía se carece de información sobre la goma de nopal (producto patológico generado por el “picudo barrenador”).

El efecto de la goma de nopal en los especímenes de tierra favoreció un secado más lento; cuanto mayor contenido de goma hay en las muestras, más tiempo se retiene la humedad. Ese fenómeno resulta favorable, ya que propicia menor agrietamiento en el espécimen de tierra, mayor cohesión entre las partículas de tierra y mejor apariencia superficial.

La presencia de la goma de nopal en los especímenes de tierra mostró una disminución del índice de capilaridad; a mayor contenido de goma de nopal, menor índice de capilaridad y, por lo tanto, menor absorción de humedad por parte de los especímenes estudiados. La presencia de la goma condujo, conforme aumentaba el porcentaje de ésta, a una menor disgregación de las partículas de tierra durante el ensayo.

Los ensayos de resistencia a la compresión de los especímenes de tierra con goma de nopal también mostraron un mejor desempeño; según aumenta la goma de nopal en el espécimen, es mayor la resistencia a la compresión.

Los diferentes análisis experimentales llevados a cabo en el laboratorio muestran que la goma de nopal es un material, principalmente, a base de polisacáridos, que tiene la capacidad de aglutinar y consolidar la tierra presente en los especímenes, sin alterar su

aparición física y el pH, confiriéndoles firmeza y solidez, lo que incide directamente en su comportamiento físico mecánico.

La goma de nopal presenta las siguientes características: buena penetración en los especímenes de tierra, no es tóxica, se puede manipular fácilmente, es un material ambientalmente amigable, con nula formación de películas plásticas superficiales, ausencia de cristalización. Además presenta buena reversibilidad, ya que, si se requiere retirar o eliminar, se disuelve fácilmente a temperaturas por encima de los 90 °C. Tales características hacen de este material una opción viable para ser utilizado como aditivo consolidante en sistemas constructivos de adobe.

Investigaciones futuras podrían enfocarse en realizar un estudio de vida de anaquel de la goma deshidratada y pulverizada, así como en evaluar tanto la influencia de la goma de nopal en los cambios dimensionales de los especímenes de tierra como el comportamiento mecánico de éstos, utilizando mayores concentraciones de goma de nopal y a tiempos de curado más prolongados.

REFERENCIAS

ASTM C117-95. (1995). "Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing". American Society for Testing and Materials, ASTM International.

ASTM C136-01. (2017). "Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos". American Society for Testing and Materials, ASTM International.

ASTM D4318-05. (2005). "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity index of Soils". American Society for Testing and Materials, ASTM International.

ASTM D698-12. (2021). "Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbt/ft³ (600 kN-m/m³))". American Society for Testing and Materials, ASTM International.

Barba, L. y Villaseñor, I. (2013). *La cal. Historia, propiedades y usos*. Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Antropológicas.

Bardou, P. y Arzoumanian, V. (1979). *Arquitecturas de adobe*. Gustavo Gili.

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

Chang, I., Im, J. y Cho, G-C. (2016). Geotechnical engineering behaviors of gellan gum biopolymer treated sand. *Can Geotech J*, 53(10), 1658-1670. doi: <https://doi.org/10.1139/cgj-2015-0475>

Daneels, A. y Guerrero, L. (2013). La Joya, Veracruz, un sitio prehispánico construido con tierra: sistemas constructivos y pruebas de preservación en trópico húmedo. *Intervención. Revista internacional de conservación, restauración y museología*, 3(6), 34-43. doi: <https://doi.org/10.30763/Intervencion.2012.6.72>

Gheribi, R., Puchot, L., Verge, P., Jaoued-Grayaa, N., Mezni, M., Habibi, Y. y Khwaldia, K. (15 de junio, 2018). Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate Polymers* 190, 204-211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.085>

Guillen, J., García De León, E., Ortiz, N., Escudero, R. y Rojas-Valencia, M. (junio, 2019). Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with *Opuntia ficus* mucilage for use in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials* 10, e00216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00216>

Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2014). Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural. Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01472572392.PDF>

Jáidar, Y. (2006). *Los extractos vegetales usados como aditivo en los morteros de cal con fines de conservación* (Tesis de licenciatura). Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete"-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jani, G., Shahb, D., Prajapatia, V. y Jain, V. (2009). Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Gums and Mucilages/Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(5), 308-322. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.4557&rep=rep1&type=pdf>

Khachatoorian, R., Petrisor, I. G., Kwan, C. C. y Fu, T. (2003). Biopolymer plugging effect: laboratory-pressurized pumping flow studies. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 38(1-2), 13-21. doi: [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(03\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(03)00019-6)

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

Lemboye, K., Almajed, A., Alnuaim, A., Arab, M. y Alshibli, K. (febrero, 2021). Improving sand wind erosion resistance using renewable agriculturally derived biopolymers. *Aeolian Research* 49, 100663. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100663>

Lobos E., Passos da Silva, D., Mena, J., Logarzo, G. y Varone, L. (enero, 2013). Principales insectos plagas de las opuntias en Argentina, México y Brasil. *Cactusnet Newsletter*, Número especial 13, 137-58. <http://www.i-m.mx/cactusnet/Cactusnet/newsletter.html>

Martínez-Camacho, F., Vázquez-Negrete, J., Lima, E., Lara, V. y Bosch, P. (2008). Texture of *nopal* treated *adobe*: restoring Nuestra Señora del Pilar mission. *Journal of Archaeological Science*, 35(5), 1125-1133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.10.019>

Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B. y Kathain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids* (14), 417-424. doi: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)

Medina, O., Carrascosa, B. y Domenech, M. T. (2015). Estudio de la influencia de aditivos naturales obtenidos de plantas crasas en las propiedades de morteros de adobe. *Arché* (10), 170-178. <http://hdl.handle.net/10251/85216>

MMP-1 02/03. (2003). Clasificación de fragmentos de rocas y suelos en *Métodos de muestreo y prueba de materiales*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Muguda, S., Booth, S. J., Hughes, P. N., Augarde, C. E., Perlot, C., Bruno, A. W. y Gallipoli D. (2017). Mechanical properties of biopolymer-stabilised soil-based construction materials. *Géotechnique Letters*, 7, 309-314. doi: <https://doi.org/10.1680/jgele.17.00081>

Nazareno, M. A. (2013). Cactus como fuente de sustancias promotoras de la salud. *Cactusnet Newsletter*, 13, 95-105. <http://www.i-m.mx/cactusnet/Cactusnet/newsletter.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1998). Archaeological zone of Paquimé, Casas Grandes. *UNESCO World Heritage Committee Adds 30 Sites to World Heritage List*. <http://whc.unesco.org/en/list/560>

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

Pacheco, G. (2014). Conservación de las estructuras y murales del Templo Pintado de Pachacamac. En D. Pozzi-Escot (Comp.), *Pachacamac: conservación en arquitectura de tierra* (pp. 143-163). Ministerio de Cultura.

Pérez, A., González, J. L., Guerrero, L. F., Sánchez, M. Á. y Chiken, A. (2021). Optimization of hydrated lime putties and lime mortars using nopal pectin for conservation of cultural heritage. *WT Transactions on the Built Environment*, 203, 101-111. doi: <https://doi.org/10.2495/STR210091>

Pérez, N., Charua, D. y Fernández, S. (2015). Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. *Estudios sobre Conservación, Restauración y Museología*, 2, 156-166. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/estudiosconservacion/article/view/5473>

Pinta, C. V. (2022). *Actividad biológica de la especie Malva sylvestris (Malva común)*. (Tesis de licenciatura). Recuperada del repositorio digital de la Universidad Central del Ecuador. Acceso: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26475>

Prajapati, V., Jani, G., Moradiya, N. y Randeria N. (15 de febrero, 2013). Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1685-1699. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.021>

Razavi, S. M. A., Cui, S. W., Guo, Q. y Ding, H. (2014). Some physicochemical properties of sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 35, 453-462. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.022>

Rodriguez-Navarro, C., Ruiz-Agudo, E., Burgos-Cara, A., Elert, K. y Hansen, E. (2017). Crystallization and Colloidal Stabilization of Ca(OH)₂ in the Presence of Nopal Juice (*Opuntia ficus indica*): Implications in Architectural Heritage Conservation. *Langmuir*, 33(41), 10936-10950. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.7b02423>

Torres, P., Cruz, S., Peña, N. C., Fernández, S. E., Rodríguez, M. A. y Cruz, A. (2015). La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. *Antropología. Revista Interdisciplinaria del INAH*, 99, 92-114. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/article/view/8197>

UNE-EN 772-11. (2011). Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería de hormigón, hormigón celular cura-

do en autoclave, piedra artificial y piedra natural, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería. España, Normalización Española.

Veiga, R. (2017). Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review. *Construction and Building Materials*, 157, 132-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080>

Ventolà, L., Vendrell, M., Giraldez, P. y Merino, L. (2011). Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials*, 25, 3313-3318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.020>

SOBRE LOS AUTORES

Juana María Miranda Vidales

Facultad del Hábitat,

Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México

jmiranda@uaslp.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8193-7035>

Licenciada en Química por la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP, maestra en Metalurgia e Ingeniería de Materiales por la Facultad de Ingeniería de la UASLP, doctora en Ciencia y Tecnología de Materiales por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), España. Profesora Investigadora de Tiempo Completo en la Facultad del Hábitat de la UASLP. Autora y coautora de más de 50 artículos en revistas indexadas nacionales e internacionales. Ha participado en congresos en el país y el extranjero, y ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), nivel I.

Lilia Narváez Hernández

Facultad del Hábitat

Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México

narvaezl@uaslp.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-0310>

Licenciada en Química y maestra en Metalurgia e Ingeniería de Materiales por la UASLP, doctora en Ciencia y Tecnología de Materiales por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), España. Profesora Investigadora de

Intervención

ENERO-JUNIO 2022
JANUARY-JUNE 2022

Tiempo Completo en la Facultad del Hábitat de la UASLP. Coordinadora de la Licenciatura en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Muebles de la Facultad del Hábitat. Autora de más de 30 artículos en revistas indexadas y arbitradas de alto prestigio. Ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Cuenta con más de 40 participaciones en congresos nacionales e internacionales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), nivel I.

Josué Moreno Fraga

Centro INAH Zacatecas,

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México

josue_moreno@inah.gob.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9263-7652>

Licenciado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Muebles por la Facultad del Hábitat de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Ha trabajado en diversos proyectos de conservación en zonas arqueológicas (Teotihuacan, La Quemada, entre otros), templos y monumentos ubicados en distintas comunidades de los estados de Zacatecas y Guerrero. Actualmente ocupa el cargo de restaurador conservador en el Centro INAH Zacatecas.