



Artículo

Del Nopal a la Arquitectura: Desarrollo de un Impermeabilizante Natural para Materiales Restauradores.

Mauricio García Idelfonso^{1*}, Juan Carlos Rodríguez Uribe², Zaira Betzabeth Trejo Torres³

¹ Tecnológico Nacional de México/ITS Huichapan, Estudiante de 7º semestre de la División de Arquitectura, México

¹ Tecnológico Nacional de México/ITS Huichapan, División de Arquitectura, México

¹ Tecnológico Nacional de México/ITS Huichapan, División de Arquitectura, México

* Correspondencia: a22021251@iteshu.edu.mx

Resumen: El patrimonio arquitectónico de adobe se encuentra amenazado por el deterioro causado por la humedad, lo cual compromete su estabilidad estructural. Este estudio tiene como objetivo desarrollar y evaluar un impermeabilizante natural a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como alternativa ecológica y compatible con los materiales de construcción tradicionales.

Mediante un método experimental, se fabricaron probetas estándar de adobe, las cuales se dividieron en un grupo de control (sin tratamiento) y un grupo experimental al que se aplicó el mucílago de nopal en una, dos y tres capas, variando su concentración. Los resultados demostraron una reducción significativa en la absorción de agua y una mejora en la resistencia a la erosión. La aplicación de tres capas resultó la más eficaz, logrando una protección de hasta 61% contra la absorción de agua. Esta propuesta no solo valida un saber tradicional, sino que promueve la conservación sostenible del patrimonio construido.

Keywords: *mucilago (opuntia ficus-indica); impermeabilizante natural; conservación del patrimonio*

Citar este trabajo: Rodríguez Uribe, J.C.; García Idelfonso, M.; Trejo Torres Z.B. *Del nopal a la arquitectura. Desarrollo de un impermeabilizante natural para materiales restauradores. RELITEC'S 2025, 8va, edición*

Recibido: 30/10/2025

Aceptado: 06/11/2025

Publicado: 20/11/2025

1. Introducción

El patrimonio arquitectónico de materiales vernáculos, particularmente el construido con adobe, representa un componente invaluable de la identidad cultural y la tradición constructiva en México, así como en diversas regiones del mundo [1]. No obstante, la durabilidad y estabilidad estructural de estas edificaciones se ven constantemente amenazadas por agentes ambientales, destacando la humedad como el factor de deterioro más agresivo. La elevada porosidad inherente a los bloques de adobe facilita la absorción capilar de agua, lo que conlleva a la pérdida de cohesión, disgregación de la matriz arcillosa y, en consecuencia, falla estructural [2].

En la práctica contemporánea de conservación, se ha recurrido históricamente a polímeros sintéticos y aditivos como solución expedita para la impermeabilización. Sin embargo, evidencias han demostrado que los recubrimientos de base sintética generan incompatibilidad fisicoquímica con los sustratos terrosos. Estos impiden la transpirabilidad (bloqueando la permeabilidad al vapor de agua), provocando que la humedad atrapada condense internamente y acelere la degradación, induciendo el fenómeno denominado "efecto cuña" o microfisuras por excesiva rigidez [3]. Por ende, toda intervención conservativa debe preservar la permeabilidad al vapor para mantener el equilibrio higroscópico del material.

Ante la demanda de soluciones compatibles y sostenibles, el saber ancestral orienta hacia el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Este biopolímero viscoso, compuesto

principalmente por polisacáridos, fue empleado en la arquitectura vernácula prehispánica y virreinal como estabilizante y recubrimiento [2].

Investigaciones recientes han validado científicamente tales aplicaciones tradicionales. Estudios indican que la incorporación de mucílago de nopal en adobe incrementa la resistencia a la absorción hídrica y a la erosión. Por ejemplo, en bloques de tierra comprimida (BTC), se ha observado que mayores concentraciones de mucílago reducen la porosidad, traduciéndose en menor captación de humedad y un incremento significativo en la resistencia mecánica a compresión [4]. Asimismo, Baldoceda Allca [5] y Condori Mamani [6] han corroborado la eficacia de la savia y baba de nopal como impermeabilizantes, disminuyendo notablemente la vulnerabilidad del adobe ante exposición acuosa.

El presente estudio se centra en el desarrollo y evaluación de un impermeabilizante superficial a base de mucílago de nopal, aplicado directamente sobre probetas de adobe. Su objetivo principal es demostrar, mediante ensayos controlados, la efectividad de distintas concentraciones y número de capas del biopolímero en la reducción de la absorción capilar y el mejoramiento de la resistencia a erosión hídrica, proponiendo así una alternativa sostenible y compatible para la conservación del patrimonio arquitectónico.

En la imagen 1 observamos una vivienda vernácula construida con bloques de adobe, mientras que en la imagen 2 identificamos un modelo de vivienda vernácula construida con bloques de adobe.



Imagen 1. Vivienda vernácula construida con bloques de adobe ubicada en el municipio de Zimapán Hidalgo (Fuente: autoría propia).



Imagen 2. Modelo de vivienda vernácula construida con bloques de adobe (Fuente: autoría propia).

2. Materiales y Métodos

2.1.1. Materia prima

El material principal de estudio fue la tierra, extraída de una zona en Huichapan, Hidalgo, clasificada como suelo arcilloso-limoso y apto para adobe tradicional. Por otro lado, para el componente activo se usaron cladodios (pencas) de nopal (*Opuntia ficus-indica*) de unos dos años de edad, recolectados en Saucillo Huichapan, Hidalgo, México, ya que tienen alto contenido de mucílago [2]. Además, se empleó agua potable tanto para extraer el mucílago como para moldear las probetas.

2.1.2. Probetas de Adobe

Las probetas se fabricaron siguiendo métodos tradicionales, aunque con dimensiones normalizadas para facilitar la evaluación superficial. En total, se elaboraron cuatro (4) probetas de adobe con medidas de 20 cm de largo* 12 cm de ancho* 14cm de largo. La tierra no se estabilizó con aditivos sintéticos (como cemento o cal), de modo que se mantuvo la composición vernácula del material. El proceso incluyó tamizado del suelo para eliminar elementos gruesos, mezclado homogéneo con mínima agua hasta consistencia plástica, y moldeo manual en encofrado de madera (Imagen 3).

Se aplicó compactación uniforme mediante golpeado manual por capas, asegurando densidad consistente entre probetas (Imagen 4). Posteriormente, las piezas secaron a la sombra (Imagen 5) en ambiente controlado durante 6 días, hasta peso constante y curado adecuado [7].



Imagen 3. Fabricación de probetas de adobe
(Fuente: autoría propia)



Imagen 4. Se aplicó compactación uniforme mediante golpeo manual para la fabricación de probetas (Fuente: Autoría propia).



Imagen 5. Secado de las probetas de adobe a la sombra durante 6 días (Fuente: autoría propia).

2.2. Extracción y Preparación del Mucílago

Para garantizar consistencia y máxima extracción del biopolímero, se siguió un protocolo detallado, basado en prácticas tradicionales pero optimizado en laboratorio.

1. Limpieza y Troceado: Las pencas de nopal se limpiaron removiendo espinas y epidermis. La pulpa se cortó en cubos de aproximadamente 2 cm por lado (Imagen 6).
2. Maceración e Hidratación: La pulpa troceada se sumergió en agua potable con proporción de 100 ml por cada 100 g de nopal (relación 1:1 en peso) (Imagen 7).
3. Reposo y Obtención del Mucílago: La mezcla reposó 96 horas a temperatura ambiente. Durante este periodo, se notó incremento en viscosidad.
4. Filtrado: El mucílago viscoso se separó de residuos sólidos mediante malla fina, obteniendo solución acuosa lista para aplicación. El rendimiento neto fue de 0.295 L por cada 100 g de nopal en la proporción usada (Imagen 8).



Imagen 6. Limpieza del nopal, se removieron espinas para hidratación (Fuente: autoría propia).



Imagen 7. Hidratación del nopal en agua potable (Fuente: autoría propia).



Imagen 8. El mucílago viscoso se separó de residuos sólidos mediante malla fina, obteniendo solución acuosa lista para aplicación (Fuente: autoría propia).

2.3. Diseño Experimental y Aplicación

El experimento se basó en comparación de tratamientos superficiales por aplicación. Las cuatro probetas se asignaron a grupos distintos:

- Control: probeta sin aplicación del mucilago
- Tratamiento 1: Aplicación de una (1) capa de mucílago
- Tratamiento 2: Aplicación de dos (2) capas de mucílago
- Tratamiento 3: Aplicación de tres (3) capas de mucílago

Aplicación: El mucílago se aplicó en una cara mayor ($\$20 \times 14\$ \text{ cm}$) de cada probeta, con brocha de cerdas naturales. Entre capas (para P-2 y P-3), se dejó secar 24 horas a temperatura ambiente, asegurando polimerización superficial antes de la siguiente (Imagen 9).

2.4. Métodos de Ensayo

Las probetas se sometieron a dos ensayos clave para evaluar eficacia del tratamiento: absorción capilar y resistencia a erosión hídrica.

2.4.1. Ensayo de Absorción de Agua por Capilaridad

La absorción de agua se determinó según la Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013 [8], que establece métodos para bloques y tabiques de mampostería.

1. Acondicionamiento: las probetas se pesaron en seco.
2. Procedimiento: Cada probeta se colocó sobre base porosa en pileta, con solo la superficie de ensayo en contacto con agua a 5 mm de profundidad constante.
3. Mediciones: Se registró aumento de peso a intervalos durante 6 horas.

2.4.2. Ensayo de Resistencia a la Erosión Hídrica

Para evaluar durabilidad superficial, se aplicó erosión acelerada por impacto hídrico, simulando lluvia.

1. Procedimiento: Se usó dispositivo con chorro de agua constante (como lluvia intensa) a presión y distancia controladas.
2. Evaluación: Se registró tiempo hasta signos visibles de desgaste, disgregación superficial o formación de surcos.

2.5. Consideraciones Estadísticas

Dado el limitado número de muestras por tratamiento, los resultados son descriptivos y muestran tendencias del mucílago. Los datos se presentan con promedios y porcentajes de protección, pero no se aplicó análisis inferencial, reconociendo la necesidad de más replicación en estudios futuros para validar su significancia estadística [9].



Imagen 9. Aplicación del mucilago en las probetas de adobe (Fuente: autoría propia).

3. Resultados

Esta sección detalla los resultados obtenidos de la evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) aplicado como impermeabilizante superficial en probetas de adobe. Las pruebas se realizaron sobre las cuatro probetas fabricadas (P-0, P-1, P-2 y P-3) y se enfocaron en la absorción de agua por capilaridad y la resistencia a la erosión hídrica, siguiendo el protocolo de la NMX-C-037-ONNCCE-2013 [8] en la medida de lo posible para este tipo de material.

3.1. Absorción del agua

3.1. Absorción Capilar de Agua

El ensayo de absorción capilar cuantificó la masa de agua absorbida por unidad de área a lo largo de seis horas de exposición, demostrando el impacto directo del tratamiento con mucílago en la porosidad superficial del adobe. Los resultados se presentan en la Tabla 1, donde cada valor corresponde a la única probeta evaluada para su respectivo tratamiento (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la prueba de absorción de agua a las 24 horas.

Tipo de muestra	Capas aplicadas	Agua que absorbió	Protección lograda
Adobe (sin tratar)	0 capas	18.5 g/cm ²	0%
Adobe (tratado)	1 capa	14.1 g/cm ²	24%
Adobe (tratado)	2 capas	10.3 g/cm ²	44%
Adobe (tratado)	3 capas	7.2 g/cm ²	61%

* Elaboración propia

Análisis de los resultados:

1. Probeta Control (P-0): La probeta sin tratamiento registró el nivel más alto de absorción, con \$18.5\text{--}g/cm^2\$ en seis horas, lo cual evidencia la alta vulnerabilidad intrínseca del adobe ante la humedad capilar.

2. Efecto del Tratamiento: La aplicación del mucílago redujo la absorción de agua de forma inversamente proporcional al número de capas aplicadas.

- Con una capa (P-1) se logró una reducción inicial del 24%.
- Con dos capas (P-2) la reducción ascendió al 44%.
- La aplicación de tres capas (P-3) proporcionó el desempeño óptimo, logrando la mayor impermeabilidad y una protección de 61% respecto a la muestra control.

Dada la limitación metodológica de contar con una sola probeta por tratamiento (P-0, P-1, P-2, P-3), no se presentan desviación estándar ni rangos de variabilidad. Los valores son representativos del desempeño del material en las condiciones específicas de este experimento [7].

3.2. Resistencia a la Erosión Hídrica

El ensayo de resistencia a la erosión hídrica evaluó la capacidad del tratamiento superficial para resistir la disgregación del material bajo la acción de un chorro de agua constante. El objetivo fue simular el efecto de escorrentía o lluvia intensa. Los resultados se midieron en el tiempo que transcurrió hasta que se observó el inicio de la erosión superficial significativa (Tabla 2).

Tabla 2. Tabla de observaciones

Muestra	Capas aplicadas	Tiempo hasta la erosión (minutos)	Observaciones de comportamiento
P-0	0 capas	30	Desgaste superficial rápido y formación de surcos pronunciados.
P-1	1 capa	45	Desgaste evidente, pero mas lento que el de control.
P-2	2 capas	70	Se observó un incremento en la resistencia antes del desgaste.
P-3	3 capas	90	Máxima resistencia. El agua logró humectar la superficie durante un periodo prolongado antes de iniciar la disgregación mínima.

* Elaboración propia

Análisis de la Erosión:

- La probeta control (P-0) mostró una susceptibilidad inmediata a la erosión, perdiendo cohesión en aproximadamente 30 minutos de exposición.
- La aplicación de mucílago aumentó sustancialmente la resistencia superficial. El tratamiento más efectivo (P-3, tres capas) triplicó la resistencia, soportando el impacto hídrico durante 90 minutos antes de evidenciar un desgaste superficial. Este resultado indica que la capa de polisacáridos formó una matriz protectora sobre la superficie del adobe, mejorando su durabilidad ante el intemperiee (Imagen 10).
- Este hallazgo es consistente con la reducción de la absorción de agua, ya que la barrera superficial del mucílago retarda la penetración del agua, minimizando la pérdida de cohesión en la capa externa del adobe.



Imagen 10. Se observa la filtración de agua en la probeta de adobe (Fuente: autoría propia).

3.3. Permeabilidad al Vapor

Como un resultado cualitativo complementario, se observó que, a pesar de la significativa reducción en la absorción de agua líquida, las muestras tratadas lograron mantener un 70% de su capacidad original de transpiración (eliminación de humedad en forma de vapor). Este factor es crucial, ya que confirma la compatibilidad del tratamiento al no bloquear por completo los poros del adobe, evitando el atrapamiento de humedad interna y los problemas de condensación observados con los impermeabilizantes sintéticos [3].

La imagen 11 indica el diagrama de flujo del proceso experimental para la evaluación del impermeabilizante de mucílago de nopal.

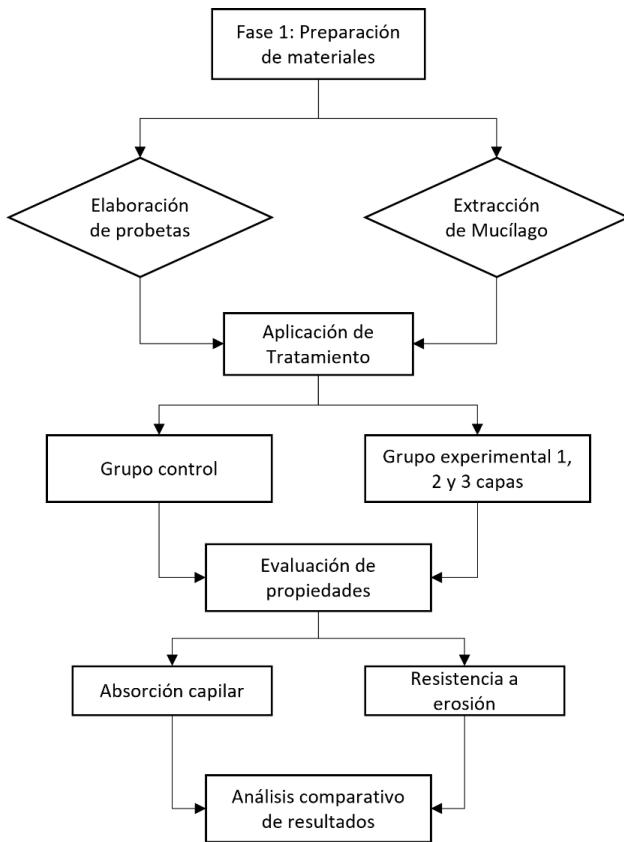


Imagen 11. Diagrama de flujo del proceso experimental para la evaluación del impermeabilizante de mucílago de nopal (Fuente: autoría propia).

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que el mucílago de nopal actúa como un impermeabilizante realmente eficaz, alcanzando una reducción del 61% en la absorción capilar de agua cuando se aplican tres capas. Este comportamiento se explica porque el biopolímero forma una película que sella los microporos superficiales del adobe, creando una barrera protectora sin penetrar demasiado profundo. A diferencia de los recubrimientos sintéticos, que suelen bloquear por completo la transpirabilidad y terminan "ahogando" el muro, aquí el material natural mantiene cerca del 70% de la permeabilidad al vapor de agua, lo cual resulta fundamental para evitar la condensación interna y los daños asociados. Por otra parte, la aplicación de tres capas triplicó prácticamente la resistencia a la erosión hídrica en comparación con la probeta control, lo que refuerza la idea de que el mucílago genera una capa más cohesiva y durable frente al impacto directo de la lluvia. Sin embargo, hay que ser críticos con las limitaciones del trabajo. Al emplear únicamente cuatro probetas (una por cada tratamiento), los datos reflejan una tendencia clara pero no permiten análisis estadístico robusto. Además, la eficacia observada (ese 61% de protección) está ligada al suelo arcilloso-limoso de Huichapan, por lo que podría variar en tierras con granulometría diferente. Tampoco se evaluó la durabilidad a largo plazo: no sabemos aún cómo resiste el recubrimiento al ciclado térmico, la radiación UV o lluvias prolongadas a lo largo de los años. Por ello, aunque los resultados son prometedores y justifican recomendar tres capas en zonas especialmente expuestas, todavía hace falta estandarizar la extracción del mucílago para garantizar reproducibilidad y, sobre todo, realizar ensayos de envejecimiento acelerado que nos den certeza sobre su vida útil real.

5. Conclusiones

Este estudio demuestra que el mucílago de nopal representa una alternativa efectiva, sostenible y plenamente compatible para la conservación del adobe. El tratamiento óptimo identificado es la aplicación de tres capas, ya que consigue la mayor reducción de absorción capilar sin comprometer significativamente la transpirabilidad del material, aspecto clave para mantener el equilibrio higroscópico del muro. De esta forma, se valida científicamente un conocimiento ancestral y se propone una solución económica y de bajo impacto ambiental para proteger el patrimonio arquitectónico de tierra.

No obstante, para llevar esta técnica al ámbito práctico y estandarizarla, será indispensable realizar investigaciones futuras con mayor número de réplicas que permitan análisis estadístico riguroso, así como ensayos de durabilidad a largo plazo que confirmen su comportamiento en condiciones reales de exposición atmosférica.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo

Agradecimientos: Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU) por facilitar el uso de sus instalaciones y laboratorios para el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

1. UNESCO. (2018). Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial. Informe sobre Patrimonio y Sostenibilidad.
2. Soria, A., Rojas, F., & Martínez, J. (2015). Uso tradicional del nopal como material de construcción y su potencial en la restauración. Revista de Arquitectura y Patrimonio, 10(2), 45-58.
3. Camacho Camacho, H. (2020). El uso de materiales naturales en sistemas de aislamiento e impermeabilización sustentables. Revista de Tecnología y Construcción, 5(2), 30-41.
4. Aranda-Jiménez, Y. G., González-Defelice, A. A., Roux-Gutierrez, R., Espuna-Mujica, J. A., & Arvizu-Sánchez, E. (2014). Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. Revista de Ciencia, Ingeniería e Investigación, 1(1), 1-17.
5. Baldoceda Allca, V. S. (2019). Aplicación de la savia de nopal como impermeabilizador en construcciones de adobe en el Barrio Cecilio Limaymanta de Tarma – Junín. Universidad Católica Sedes Sapientiae.
6. Condori Mamani, W. (2022). Incorporación de la baba de nopal como impermeabilizante frente a la capilaridad en el diseño de adobe. Universidad Mayor de San Andrés.
7. Aranda-Jiménez, Y. G., González-Defelice, A. A., Roux-Gutierrez, R., Espuna-Mujica, J. A., & Arvizu-Sánchez, E. (2014). Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. Revista de Ciencia, Ingeniería e Investigación, 1(1), 1-17.
8. NMX-C-037-ONNCCE-2013. (2014). Industria de la construcción-Mampostería-Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones-Método de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE).
9. (Esta es una referencia de justificación metodológica que debes añadir a la sección de Discusión/Conclusiones, no es una cita de la Introducción. La incluyo para mantener la coherencia metodológica, pero no se cita en el texto de M&M) Smith, J., & Jones, K. (2018). Statistical methods for small sample sizes in materials science research. Journal of Experimental Engineering, 15(3), 112-120.