

# PROJECT, DESIGN AND MANAGEMENT

ISSN: 2683-1597



## Cómo citar este artículo:

Silva Cascante, A. V., Vazquez Mora, C.A. & Uría Cevallos G. R. (2020). Determinación del uso del mucilago de nopal en la construcción de la época colonial (caso Convento de San Diego). *Project, Design and Management*, 2(2), 95-118. doi: 10.29314/pdm.v2i1.433

## DETERMINACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE NOPAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ÉPOCA COLONIAL (CASO CONVENTO DE SAN DIEGO)

**Angel Vicente Silva Cascante**

Universidad Internacional Iberoamericana (Ecuador)

[angelsilvac@hotmail.com](mailto:angelsilvac@hotmail.com)

**Carlos Andrés Vásquez Mora**

Unidad de Laboratorio y Análisis – INPC (Ecuador)

[carlos.vasquez@patrimoniocultural.gob.ec](mailto:carlos.vasquez@patrimoniocultural.gob.ec)

**Guadalupe del Rosario Uría Cevallos**

Silva & Uría – Construcción y Restauración (Ecuador)

[guadalupeuriac@gmail.com](mailto:guadalupeuriac@gmail.com)

**Resumen.** Esta investigación pretende determinar la existencia o no de componentes orgánicos a partir del análisis en fragmentos de morteros del convento de San Diego localizado en el centro histórico de la ciudad de Quito - Ecuador; se realizó la investigación de nueve (9) muestras de morteros tomadas de la edificación que corresponde a la época colonial, las muestras son: de adobe, mortero de pisos y enlucidos, estos fragmentos corresponden a diferentes periodos de construcción que van desde: 1597 a 1700; la presente investigación determinó que en los morteros analizados hay la presencia del mucilago de nopal. Para realizar una valoración se obtuvieron patrones del mucilago, para esto se tomaron dos muestras de la baba de nopal: la primera muestra fue obtenida a temperatura ambiente, la misma que al tacto es ligera y pegajosa, y la segunda muestra fue extraída por medio de cocción a una temperatura de entre 90 a 100 C°, esta al tacto es mucho más densa y adherente. Así mismo, el uso de la cal fue añadido comparando la acción de la cal viva, respecto a la cal apagada (ahogada) lo que genera plasticidad adicional en el material. Con estos patrones se realizó la comparación del patrón obtenido de los morteros antiguos, como resultado se obtuvo que los patrones que coinciden entre sí son los espectros obtenido por cocción con el obtenido de los

morteros antiguos, lo que determina que se utilizó el mucilago de nopal en la construcción en la época colonial.

**Palabras claves:** morteros, análisis, mucilago, cal.

## **DETERMINING THE USE OF NOPAL MUCILAGE IN THE CONSTRUCTION IN COLONIAL TIMES (CASE OF CONVENT OF SAN DIEGO)**

**Abstract.** This research aims to determine the existence or not of organic components from the analysis in mortar fragments of the San Diego convent located in the historic center of the city of Quito – Ecuador. The investigation of the nine (9) samples of mortars were taken from the building that corresponds to the colonial era. The samples are: adobe, floor mortar, and plasters. These fragments correspond to different construction periods ranging from: 1597 to 1700. The present investigation determined that in the mortars analyzed there is the presence of the prickly pear mucilage. To perform an assessment mucilage patterns were obtained. For this two samples of the prickly pear cactus were taken. The first sample was obtained at room temperature, the same one that is light and sticky to the touch. The second one was extracted by means of cooking at a temperature between 90 to 100 ° C. This sample to the touch is much denser and more adherent. Likewise, the use of lime was added by comparing the action of quicklime with respect to the lime (drowned), which generates additional plasticity in the material. With these patterns the comparison of the model obtained from the old mortars was made; as a result, the patterns that coincide with each other are the spectra obtained by cooking with the one obtained from the old mortars. Therefore, this determines that the nopal mucilage was used in construction in the colonial era.

**Keywords:** mortars, analysis, mucilage, lime.

### **Introducción**

Partiendo de estudios realizados en México, donde mantienen una tradición del uso del nopal en la construcción que viene desde la época prehispánica, se asume que este fue utilizado en la fabricación de adobes y morteros de cal, debido a las grandes ventajas que proporcionaba este aglutinante natural, favoreciendo para que estos elementos no tengan un secado rápido evitando de esta manera el quebrantamiento del material y mejore sus propiedades mecánicas. (Hernández, Coronado, López, & Horta, 2008).

Se plantea en esta investigación el propósito de identificar de la utilización o no de un aglutinante orgánico, en este caso el mucilago de nopal (*Opuntia ficus*) en las construcciones patrimoniales existentes en el centro histórico de la ciudad de Quito – Ecuador, es importante comprobar si en los morteros antiguos se utilizó o no la baba de nopal.

El uso del mucilago de nopal en los morteros tradicionales es importante ya que en combinación con la cal aumenta sus propiedades adhesivas, mejora las características mecánicas y permite que los morteros se sequen más eficazmente, además, ayuda a retener la humedad que los morteros tradicionales necesitan para fraguar correctamente, y estos mejoran su impermeabilidad al agua, particularidades que permitirán optimizar su uso o aplicación en la restauración y protección de los edificios patrimoniales.

Para esta investigación se escogieron muestras del Convento de San Diego, se consideró esta edificación por ser una de las edificaciones menos intervenidas que conserva un alto porcentaje de originalidad en su sistema constructivo y materiales originales con los que fueron empleados en su construcción, además, existe una gran particularidad en esta edificación, ya que tiene cinco (5) periodos constructivos bien definidos que van desde el año de 1597 hasta el año de 1750, esto nos ayudara a identificar si en cada uno de los periodos constructivos del monumento se utilizó las mismas técnicas y materiales tradicionales para su construcción; para la investigación y análisis de los morteros se realizó la toma de las muestras, para lo que se tuvo que solicitar la autorización a las autoridades eclesiásticas encargadas del convento, las mismas que permitieron recoger tan solo dos (2) muestras por cada periodo constructivo que tiene la edificación.

Periodos de construcción:

Periodo 1: Claustro Principal (1597-1609).

Periodo 2: Claustro Patio de la Pila (1700).

Periodo 3: Claustro Patio de la Pila, Crujía Norte (1714).

Periodo 4: Claustro del Refectorio (1731-1734).

Periodo 5: Claustro Noviciado (1750).

La edificación de San Diego a pesar de sus años conserva su majestuosidad, presenta una gran solidez en sus muros y columnas de piedra del siglo XVII. Los diferentes claustros que conforman la edificación tienen patios interiores que se conectan entre sí por medio de galerías donde se pueden apreciar las grandes arquerías en planta baja y pórticos en los niveles superiores, los corredores en las galerías superiores se iluminan por medio de elementos arquitectónicos conocido como linternas. Los muros en planta baja están conformados casi en su totalidad de adobe cubiertos por enlucidos de barro y en la planta alta su estructura está construida en madera que en ciertos casos están amarrados con cabestro y de bahareque que se conforma de carrizo y que van cubiertos por una torta de barro, sus cielos rasos son de carrizo amarrados con chilpe, zuro y barro. (Kennedy Troya & Ortiz Crespo, 2010)



*Figura 1.* Fachada principal del convento de “San Diego” Quito - Ecuador.

*Nota:* Fuente Propia, 2019

El Nopal, son plantas arbustivas, rastreras o erectas, adquieren una altura promedio de 3 a 5 m de altura, en su crecimiento se ramifica densamente, posee un sistema rico en finas raíces que son bastante absorbentes, generalmente crece en zonas áridas de escasa pluviometría, la longitud de las raíces depende de las condiciones hídricas del terreno donde se la cultive, son muchos los sectores industriales que se benefician de la explotación del nopal, entre ellos está el sector de la construcción que lo utilizan como ligante y en la preparación de pinturas que tienen como base a la cal. (Sáenz, 2006)

En Ecuador se lo puede encontrar a lo largo de la región Interandina, en la actualidad por desconocimiento o pérdida del saber ancestral sobre el manejo de materiales y técnicas constructivas tradicionales, su utilización es tan solo comestible del fruto que produce la penca.

La composición química que citan ciertos autores es la siguiente:

Tabla 1  
*Composición química de la tuna*

<b>Composición química de la baba</b>	<b>Composición química del mucílago</b>
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	Polisacáridos: galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico.

*Nota:* Fuente: Rodríguez-Felix & Cantwell (1988)



*Figura 2.* Planta de nopal

*Nota:* Fuente propia, 2019

### ***Métodos para la obtención de patrones***

Para realizar la investigación de las muestras de los morteros obtenidas de la edificación, primero se efectuó en el laboratorio el análisis de los ejemplares de la baba de nopal y de la cal apagada.

Para realizar el estudio de las bondades del nopal, fue necesario extraer el mucilago de la penca por medio de la utilización de dos métodos, siendo estos el de cocción y a temperatura ambiente, se eligieron estas dos técnicas porque entre las dos presentan diferencias de resultado entre sí, lo que nos permite establecer diferentes propiedades del mucilago entre cada uno de los procedimientos, los métodos establecidos son:

- Método por medio del cocido
- Método en remojo o reposo

No existe una estandarización de proporción para la extracción del mucilago entre agua/nopal a temperatura ambiente y por cocción de los nopales, sin embargo se para esta investigación se considerara la proporción 2:1 (agua: nopal); esta emulsión es una sustancia espesa que se consigue de la paleta de tuna conservando sus propiedades, con este propósito, se procedió a realizar la selección y recolección de los nopales, de los cuales se cortaron únicamente ciertos tallos, dejando su tronco principal para que en este broten nuevos retoños.



*Figura 3.* Recolección de la planta de nopal.

*Nota:* Fuente Propia, 2019

Para la utilización del nopal, primero se realizó la limpieza de cada una de las pencas, procediendo a quitar las espinas para evitar que estas se adhieran a la piel, posteriormente se tuvo que cortar en pequeños trozos en forma de cuadrados de más o menos 2 cm de longitud, esto con objeto de facilitar y obtener una mayor cantidad del mucilago de la penca del nopal. (Abraján Villaseñor, 2008)

### ***Extracción de la baba de nopal***

Primer método: a temperatura ambiente, el nopal cortado se colocó en un recipiente plástico y luego se lo cubrió con agua limpia en una proporción de 1:2, es decir 1 kg de nopal y 2 litros de agua, a continuación, se tapó el recipiente y diariamente esta mezcla fue removida de forma circular con una vara de madera, en este caso la emulsión del mucilago se la obtuvo a los 2 días. A continuación, se procedió a filtrar por gravedad el líquido que contiene la baba de nopal utilizando un colador plástico de malla de trama fina para separar los residuos fibrosos; por medio de este método los nopales pueden ser utilizados por una segunda ocasión para obtener más mucilago, en este caso se repite el proceso y se va triturando la penca con un madero para conseguir más cantidad de emulsión de nopal, por medio de este método el mucilago que se obtiene es de una

viscosidad ligera y de una contextura no muy densa, pero mantiene su característica adhesiva.



Figura 4. Corte de las pencas de nopal y obtención del nopal a temperatura

Nota: Fuente Propia. 2019

Segundo método: se repitió el proceso de limpiado y cortado, se mantuvo las proporciones tanto de nopal como el agua, luego se procedió a realizar un procedimiento de cocción a una temperatura entre 90-100°C por 120 minutos, para extraer la mayor cantidad de mucilago posible durante el periodo de cocción se fue aplastando el nopal para que suelte en lo posible toda la baba que tiene la penca, luego se lo dejo reposar para que los sólidos se sedimenten y se enfrió el líquido, obteniendo así el mucilago, para separar los fragmentos sólidos de fibra que contiene el fluido se filtró por gravedad; con este proceso se pudo observar que se obtuvo una emulsión que contiene el mucilago con una consistencia más espesa y pegajosa. (León, 2010).



Figura 5. Obtención del nopal por medio del proceso de cocción.

Nota: Fuente Propia, 2019

Una vez que se adquirió las muestras del mucilago, tanto a temperatura ambiente como a cocción, se colocaron en envases plásticos y en el laboratorio (INPC), donde fueron analizados para obtener sus patrones por medio de la utilización del método de *Espectroscopia Infrarroja*

Para determinar la composición química de los componentes que conforman las distintas muestras de los morteros, así como las sustancias de referencia que mantienen para una posible aplicación en los mismos, esto se pretende esclarecer a través del uso de la técnica de laboratorio de la espectroscopia infrarroja, y de la misma manera obtener la mayor cantidad de información analítica posible de sus ingredientes.

Para realizar los análisis y proceder a obtener los patrones se utilizaron distintas muestras de morteros, estas corresponden a distintas épocas de construcción del convento de San Diego.

**Descripción y ubicación de las muestras**

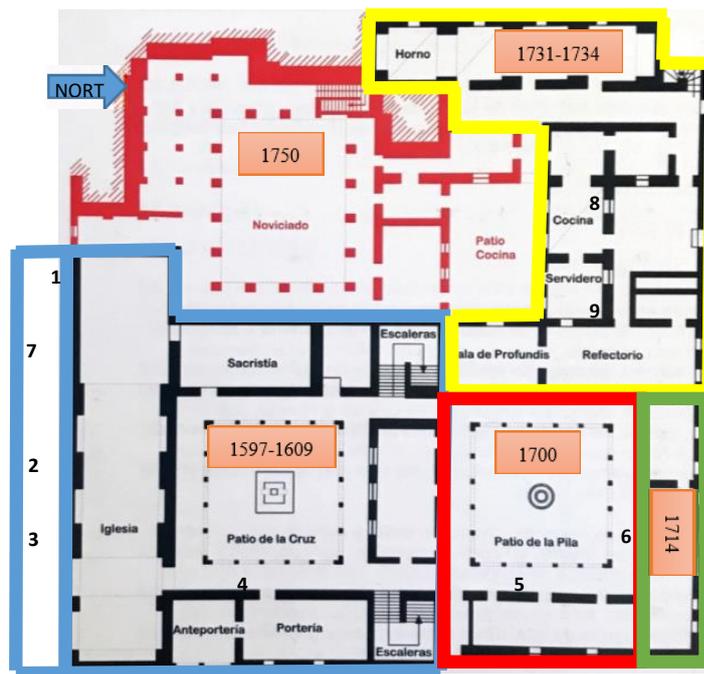


Figura 6. Delimitación de los periodos de construcción del Convento de San Diego con los puntos de muestra

Nota: Fuente Propia, 2019.

Cuadro de ubicación de los puntos que indican la procedencia de las muestras en la edificación de los morteros analizados:

Tabla 1  
Ubicación de Muestras

Número	Código INPC	Muestra/Ubicación	Observaciones
1	19-07-5	Arco Cementerio Mortero Restauración 2007	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
2	19-07-6	Mortero Muralla del Cementerio	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
3	19-07-7	Mezcla Mampuesto del Cerramiento (adobe)	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
4	19-07-8	Mortero pario de la Cruz, corredor este	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
5	19-07-9	Mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (este)	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura

6	19-07-10	Mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (norte)	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
7	19-07-11	Mortero de reparación moderna cerramiento	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
8	19-07-12	Mortero para asentar piso pastelero 2da Planta	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura
9	19-07-13	Mortero Mamposterías sala de acceso al teatro 2da Planta	Se sometió a un tratamiento de acetato de etilo previo lectura

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

## Resultados

### *Análisis organoléptico de materiales*

Para realizar el análisis organoléptico de los materiales tanto de aditivos (mucilago de nopal) y del conglomerante (cal), se proporcionaron las muestras:

- Mucilago de nopal, obtenido a temperatura ambiente y por cocción.
- Cal, muestra de cal viva y cal hidratada (apagada)

Nopal. - para conocer el estado físico de la muestra, se trabajaron con dos tipos de muestras de Mucilago: se obtuvo la baba de nopal a temperatura ambiente (proceso de descomposición) y la otra muestra sometida a una cocción a una temperatura promedio de 80°C.

Físicamente estas muestras presentan diferencias. En el caso del mucilago “cocinado” a 80°C se pudo apreciar que es más viscoso, y su capacidad de adherencia de manera sensorial es mejor en comparación al mucilago macerado, que es más ligero en su aspecto. El mucilago presenta una característica principal que es la viscosidad, para nuestro caso, la misma que se proyecta su uso en la aplicación como aditivo para el uso en la construcción y pinturas (Vargas-Rodríguez, et al., 2016)



Figura 7. Mucilago cocido a 80°C, y su efectividad como adhesivo.

Nota: Fuente Propia, 2019

La cal.- conglomerante que tiene cualidades naturales propias de adhesión y cohesión para unir agregados, y que advierte una reacción química que lo endurece, en este caso se proporcionó:

- Cal viva en polvo.

- Cal apagada.

La cal viva, se encuentra en la naturaleza como piedra caliza, esta se obtiene procesándola en hornos a altas temperaturas, en esta acción es cuando libera el CO<sub>2</sub> y se obtiene la llamada “cal viva”, la misma que es altamente reactiva al contacto con el agua, obteniéndose como resultado un material grumoso.

La cal apagada [Ca(OH)<sub>2</sub>], que se obtiene como resultado de haberle sumergido la cal viva en agua durante un periodo de tiempo, mientras más largo sea el ciclo de apagado, esta ira mejorando su pureza, también, se la conoce como “hidróxido de calcio”, como resultado de este proceso esta se presenta como pasta fina con una pureza de entre el 70 y 80%, cualidades que determinan para su uso de la construcción o en preparación de lienzos para pintura. (Villalobos Ruiz, 2014)

Barro, sus componentes principales son los feldespatos, se trata de una mezcla de aluminosilicatos de sodio, potasio, calcio principalmente con bajo contenido de cuarzo (<12%), consistente con la composición mineralógica de los suelos sedimentarios del valle interandino.

#### ***Análisis de materiales por espectroscopia infrarroja***

El laboratorio utiliza el procedimiento específico de ensayo PEE-LAB-INPC-04 para Análisis por Espectroscopia Infrarroja FTIR-ATR<sup>1</sup>. Esta técnica utiliza radiación en el rango infrarrojo y mediante señales en forma de picos, los cuales nos permiten identificar ciertos grupos funcionales o interacciones moleculares, y de esta manera determinar las sustancias a investigar.

En algunos casos, debido al interés sobre determinados grupos funcionales, es necesario extraerlos de la matriz que los contiene, para ello se utiliza el principio de las series elutrópicas (series de solubilidad) que se aplican en cromatografía líquida.

#### ***Análisis de sustancias patrón o de referencia***

Las sustancias de referencia obtenidas fueron de mucilago obtenido del nopal y cal. Estas sustancias, según se indica en las etiquetas, fueron sometidas a distintos tratamientos físicos y químicos, con el fin de mejorar ciertas propiedades mecánicas, de adhesividad y cohesión.

Las muestras en medio acuoso no pueden medirse con el equipo de FTIR-ART, debido a que el agua interfiere con las señales propias de las muestras. Para poder ejecutar las lecturas sin interferencias, se evapora el exceso de líquido de estas sustancias, e inmediatamente se colocan en el cristal de ATR para poder obtener un espectro adecuado.

Con fin de adaptar las muestras a los protocolos manejados en el laboratorio, se proporcionó un código para cada una de ellas. A continuación, se presenta esta información en la siguiente tabla.

---

<sup>1</sup> FTIR-ATR se refiere a la Espectroscopia Infrarroja con Transformadas de Fourier con un accesorio de Atenuación Total Reflejada.

Tabla 3  
Sustancias de Referencia

Código INPC	Muestra	Observaciones
19-07-1	Mucilago extraído del nopal en agua, calentado a 90-100°C	Se sometió a un tratamiento de evaporación para su lectura
19-07-2	Mucilago extraído del nopal en agua, mediante macerado por 7 días	Se sometió a un tratamiento de evaporación para su lectura
19-07-3	Cal apagada por 18 meses	Se sometió a un tratamiento de evaporación para su lectura
19-07-4	Cal viva	Sin tratamiento

Nota: Fuente Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

### Mucilago

Las mediciones realizadas se hicieron con el equipo de FTIR-ATR, cuyos resultados se presentan en Transmitancia vs número de onda. Las señales que se indican en la figura 9 son el producto de las interacciones moleculares (vibraciones espectrales), que el mucilago presenta frente a un haz infrarrojo. Estos datos nos indican que existen pequeñas variantes entre el mucilago obtenido a 80°C (cocido) y el mucilago a temperatura ambiente. Se puede observar que el mucilago cocido posee una señal más grande alrededor de 1000 cm<sup>-1</sup> respecto al mucilago sin cocer.

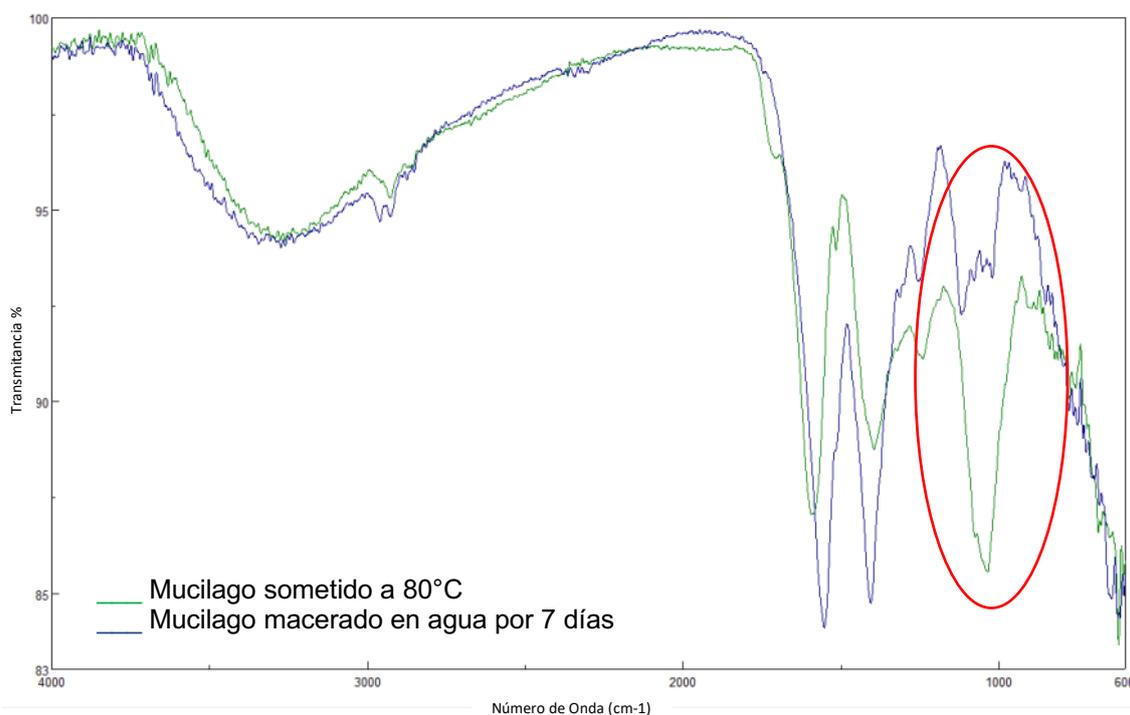


Figura 8. Espectros de los mucilagos obtenidos por FTIR-ATR.

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

Para poder interpretar el resultado anterior, se describen los picos encontrados en el espectro del mucilago cocido a 80°C.

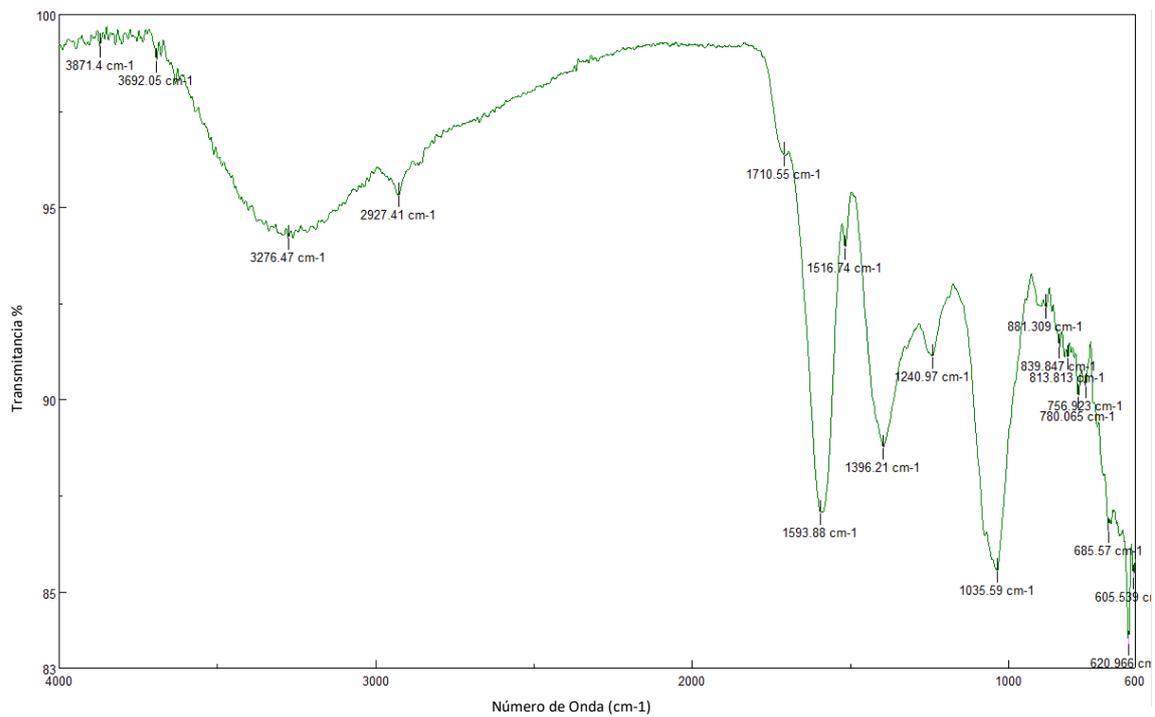


Figura 9. Espectro mucilago sometido a 80°C (cocido) obtenido por FTIR-ATR.  
Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

También, se somete al procedimiento anterior al mucilago a temperatura ambiente macerado durante 7 días.

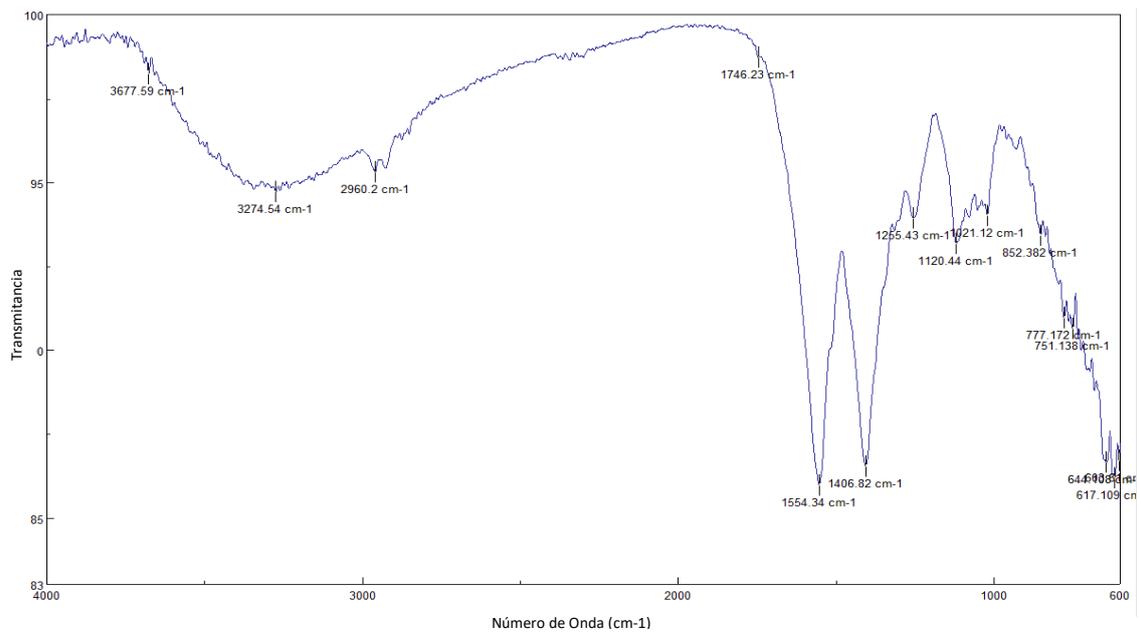


Figura 10. Espectros del mucilago macerado en agua por 7 días obtenido por FTIR-ATR.  
Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

El espectro FTIR-ATR de diversos tipos de mucilagos se caracterizan por tener una lectura de valores<sup>2</sup> que van desde 1000  $\text{cm}^{-1}$  a 2000  $\text{cm}^{-1}$ , identifica a la mayor cantidad de grupos químicos que proveen información que puede ser empleada para diferenciar los diferentes tipos de mucilagos. Según fuentes bibliográficas, la presencia de estos grupos funcionales puede explicarse de la siguiente manera.

Los espectros presentados presentan señales o bandas de estiramiento en O-H grupos alcohol (3100-3600  $\text{cm}^{-1}$ ), aparecen debido a la formación de puentes de hidrógeno de estos grupos funcionales, estas vibraciones, junto con las señales de CH, CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub> (grupo metilo, metilen y metino) que son bandas de estiramiento (3000–2800  $\text{cm}^{-1}$ ).

Las señales más intensas ocurren en la región de huella dactilar común de los polisacáridos o carbohidratos unidades (1300–1050  $\text{cm}^{-1}$ ). Así como la región de 1200-1800  $\text{cm}^{-1}$  del estado del grupo carboxilo.

Sin embargo, la región entre los 1000-2000  $\text{cm}^{-1}$  se identifica la mayor cantidad de grupos químicos, que provee información que puede ser empleada para diferenciar los diferentes tipos de mucilagos.

Entre los números de onda de 1200 a 900  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran azúcares de tipo monosacáridos y polisacáridos, a 1750  $\text{cm}^{-1}$  se presentan aldehídos propios de los azúcares, en 1100  $\text{cm}^{-1}$  se presentan ésteres asociados a estos mismos azúcares que forman parte de los mucilagos. Estos azúcares se denominan arabinosa, ramnosa, galactosa y xilosa (Aguilar Reynosa & Rodríguez, 2010). Estos azúcares garantizan la adhesividad y cohesión en conjunto con otros elementos que componen el mortero.

### ***Cal viva y Cal apagada***

Estas sustancias fueron sometidas a un tratamiento de secado, para eliminar el exceso de agua que interfiere en el análisis. Las lecturas a continuación se ajustan para determinar semejanzas y diferencias espectrales entre estos dos materiales. Se puede observar concordancias en tres picos de los patrones, estos se ubican aproximadamente en 3600  $\text{cm}^{-1}$ , 1400  $\text{cm}^{-1}$  y 800  $\text{cm}^{-1}$ , los cuales se presentan en la siguiente figura.

---

<sup>2</sup> Los valores de números de onda son inversos a las frecuencias, se encuentra en unidades ( $\text{cm}^{-1}$ )

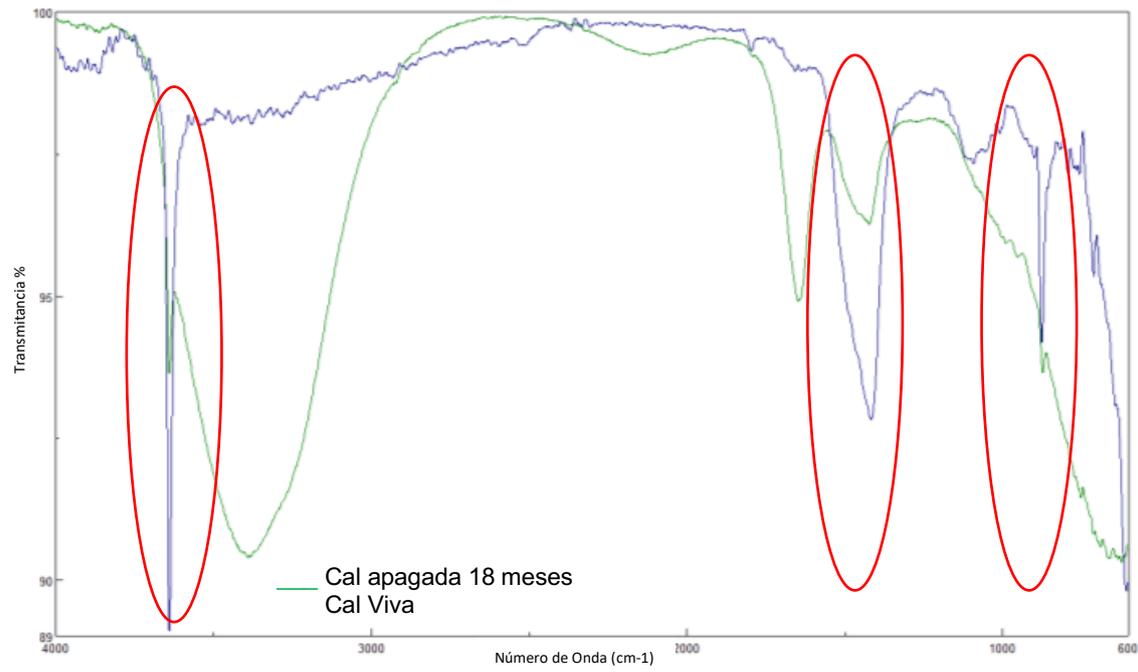


Figura 11. Espectros de los tipos de la cal obtenidos por FTIR-ATR.

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

Para identificar las diferentes anomalías o cambios en las lecturas espectrales, se lee la cal viva y apagada por separado, pudiendo obtener los valores de números de onda de manera individual, lo que nos permite obtener una adecuada identificación de los mismos.

A continuación, se presenta el espectro infrarrojo de la cal apagada.

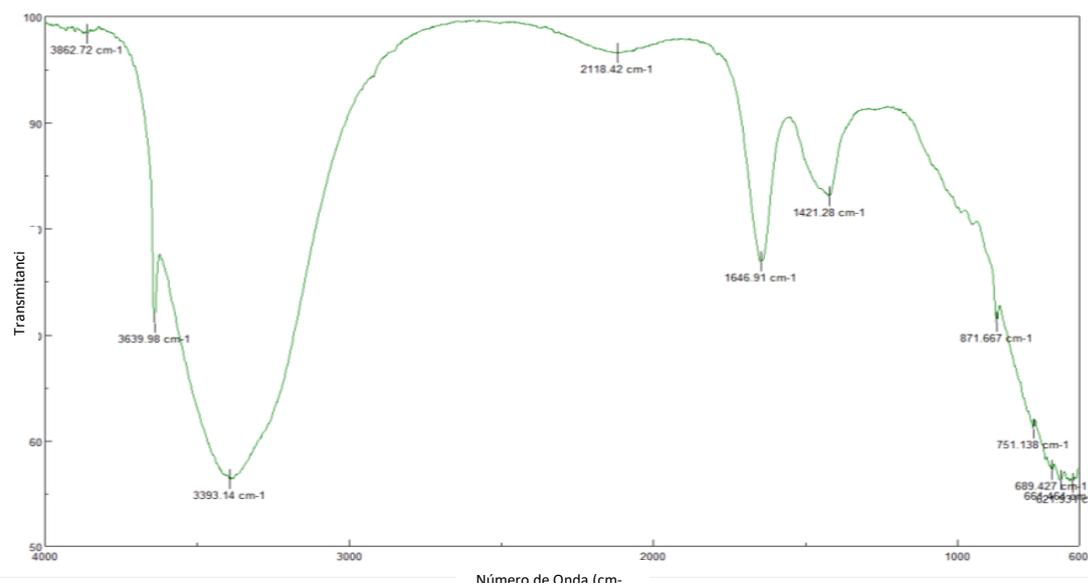


Figura 12. Espectro de la cal apagada obtenido por FTIR-ATR

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

Así mismo, la cal viva presenta los siguientes valores de número de onda, como se indica en la siguiente gráfica.

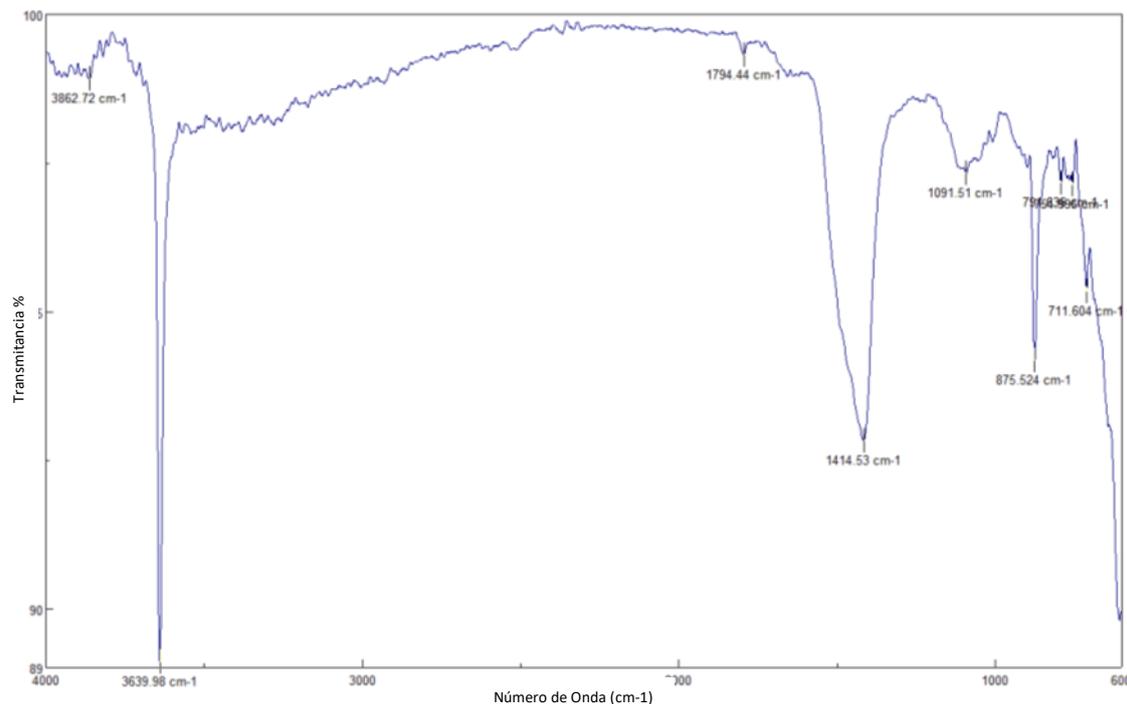


Figura 13. Espectro de la cal viva obtenido por FTIR-ATR

Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

### **Muestras de Mortero**

Como las muestras se encuentran en estado sólido fue necesario extraer las sustancias de naturaleza sea orgánica. Para ello, el protocolo de manejo de muestras orgánicas en suelo recomienda extraer las muestras con acetato de etilo, debido a su fuerza de elución intermedia (0.58 en la serie de Snyder<sup>3</sup>), utilizado muy comúnmente en separaciones cromatográficas. Por esta razón, el solvente debe únicamente arrastrar las posibles sustancias orgánicas afines encontradas en las muestras y leerlas posterior a su evaporación. Para el análisis por FTIR-ATR se utilizó la región espectral entre 1800 a 600  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes a la zona de huella digital de los espectros. No toda la zona espectral infrarroja medida, nos proporciona información para comparar. Es por eso que, se restringe el área de medición de los espectros y, de manera más didáctica, se separarán en escalas de las gráficas en transmitancia vs número de onda.

En función del análisis por espectroscopía FTIR-ATR, se compararon los distintos espectros con las sustancias de referencia (mucilago cocido<sup>4</sup> y cal apagada), elaboradas exclusivamente para determinar su posible tecnología de producción. A través del software “Knowitall”, podemos comparar y superponer estos espectros digitalmente.

<sup>3</sup> La serie de Snyder se emplea en cromatografía de capa fina (TCL) y otras cromatografías para medir el valor del poder de elución de un solvente o una mezcla de solventes. Fuente. Unidad de Laboratorio y análisis INPC.

<sup>4</sup> El mucilago fue cocido en un rango de temperatura entre 80 a 100 °C. Fuente: El Autor

Casi todas las muestras presentan los mismos picos que la referencia de nopal a 80°C. Hubo solo dos muestras que no tuvieron relación, estas fueron: mortero de reparación moderna del cerramiento, mortero para asentar piso pastelero 2da planta. Esta información se presenta en la siguiente gráfica.

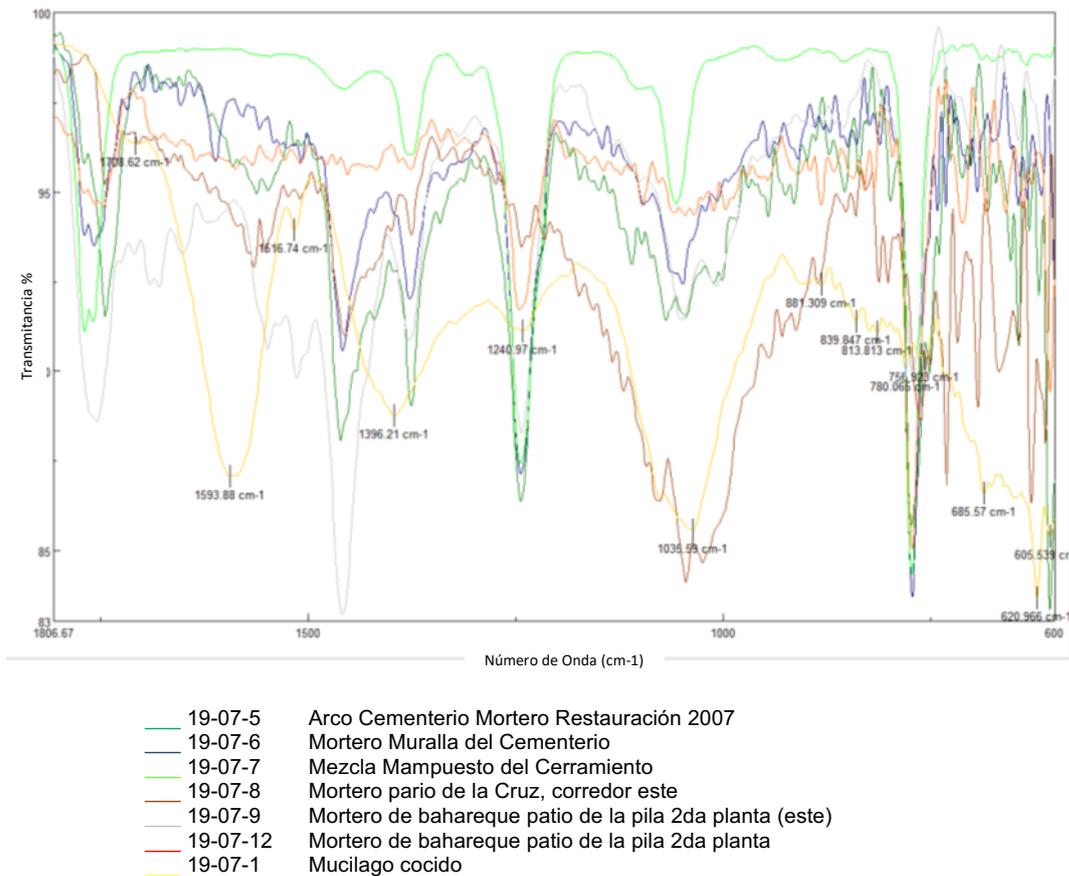


Figura. 14. Espectros las muestras vs el mucilago cocido

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

La información que asemeja los espectros de nopal con las muestras se detalla a continuación. Se determinó en este caso, que los espectros correspondientes a las zonas las muestras: mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (norte) y mortero mamposterías sala de acceso al teatro 2da planta, poseían bandas en 1455,99  $\text{cm}^{-1}$  que son Alcoholes (C-O), 1375,96  $\text{cm}^{-1}$ (C-O) que corresponden a ésteres y 1102,12  $\text{cm}^{-1}$ (HO-COO) que son ácidos carboxílicos. A pesar de poseer una naturaleza orgánica, en sí no definen como el resto de espectros, una posible adición de materiales aglutinantes como el mucilago.

Una manera más minuciosa en la identificación de los espectros es comparar entre cada una de las muestras vs las sustancias de referencia, como lo son el mucilago y también de la cal apagada. Dividiremos los rangos espectrales en grupos y también diferenciaremos los componentes orgánicos y la cal.

**Rango espectral desde 1520 – 1500  $cm^{-1}$**

Los mucilagos poseen una característica notable en distintas bandas espectrales, para iniciar se pueden observar los picos que comparten las muestras y el mucilago en los números de onda  $1593,88\text{ cm}^{-1}$  (N-H) que corresponden a amino,  $1516,74\text{ cm}^{-1}$  (C-O) que corresponden a alcoholes.

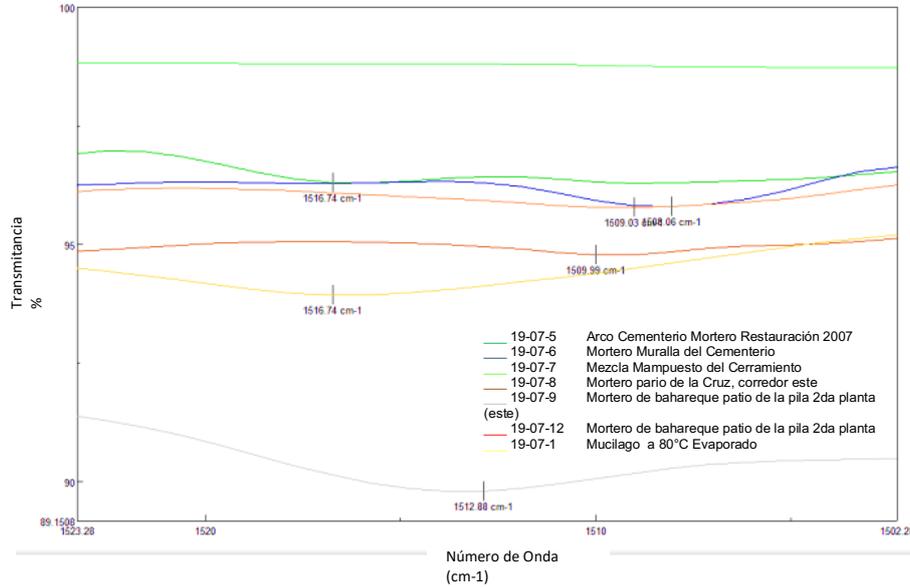


Figura. 15. Espectros de las muestras vs el mucilago cocido rango entre 1520- 1500  $cm^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

**Rango espectral desde 1450 – 1300  $cm^{-1}$**

Para verificar la existencia de alcoholes y esterés, se escoge este rango dentro del espectro. Lo que se identifico fue que existe otra banda que corresponde a un componente del mucilago se ubica en  $1396,21\text{ cm}^{-1}$  (C-O) y corresponde a éster.

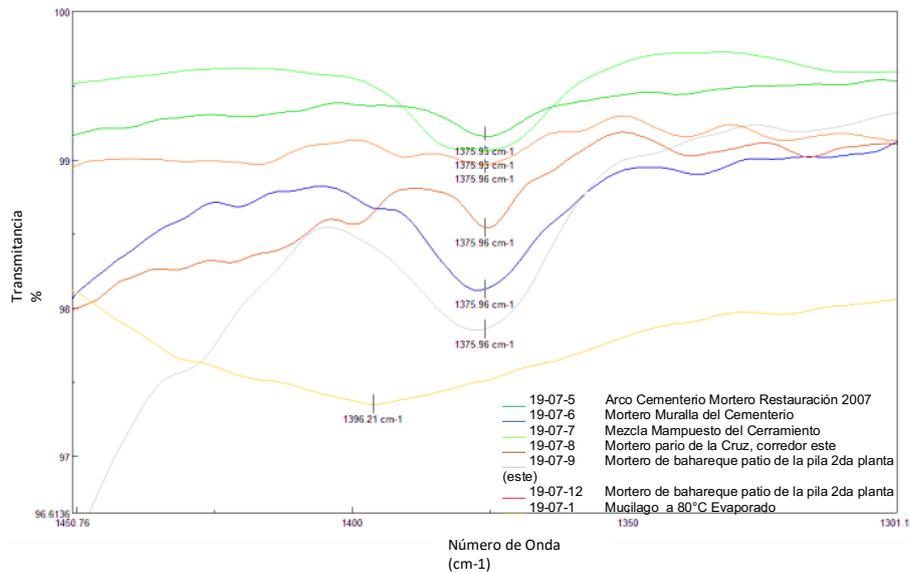


Figura. 16. Espectros de las muestras vs el mucilago cocido rango entre 1450- 1300  $\text{cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

### Rango espectral desde 1300 – 1100 $\text{cm}^{-1}$

Dentro de esta zona, se encuentran los grupos funcionales de ácidos carboxílicos, en picos alrededor de 1240,97  $\text{cm}^{-1}$  (HO-COO).

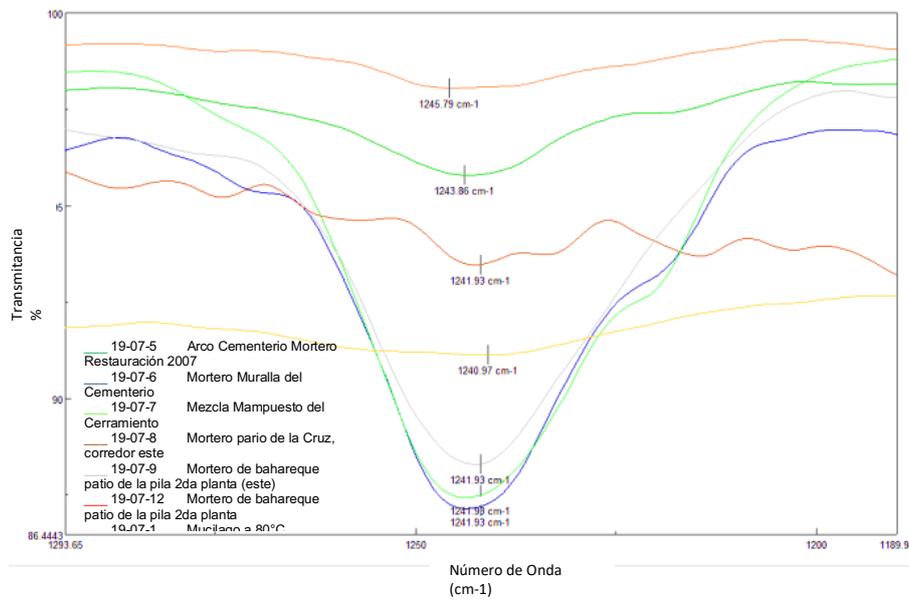


Figura. 17. Espectros de las muestras vs el mucilago cocido rango entre 1300- 1100  $\text{cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

### Rango espectral desde 1100 – 960 $\text{cm}^{-1}$

Esta zona espectral es una de las más importantes puesto que se manifiestan grupos alcoholes. En el pico ubicado en 1035,59  $\text{cm}^{-1}$  (C-O) corresponden a este grupo, localizado en las sustancias de referencia y en todas las muestras.

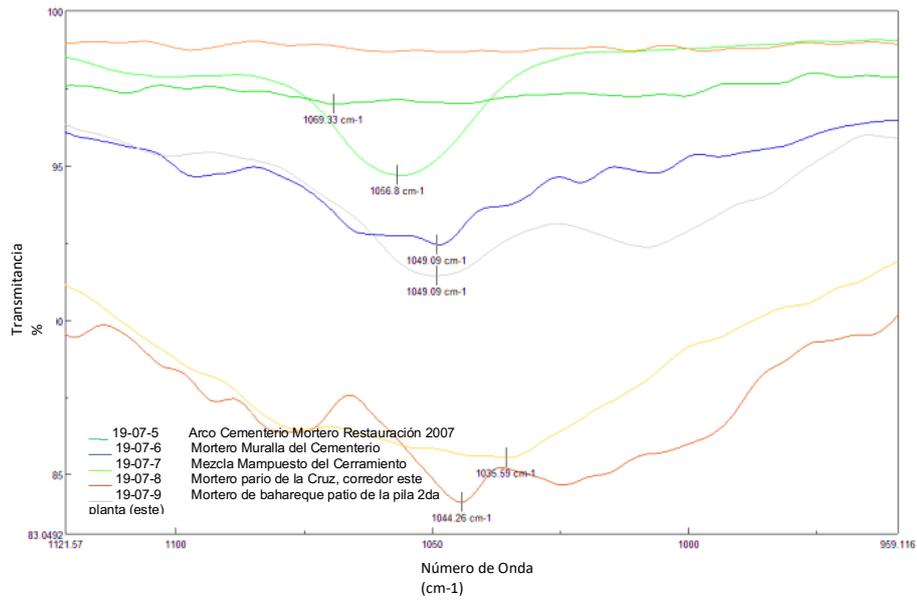


Figura. 18. Espectros de las muestras vs el mucilago cocido rango entre 1100- 960  $\text{cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

**Rango espectral desde 960 – 600  $\text{cm}^{-1}$**

Por último, en picos a 771  $\text{cm}^{-1}$  (C-C) que corresponden a carbonos ramificados, 685,57  $\text{cm}^{-1}$ , y 621  $\text{cm}^{-1}$  (C-C) que pertenecen a carbonos lineales, compuestos que forman parte de los mucílagos.

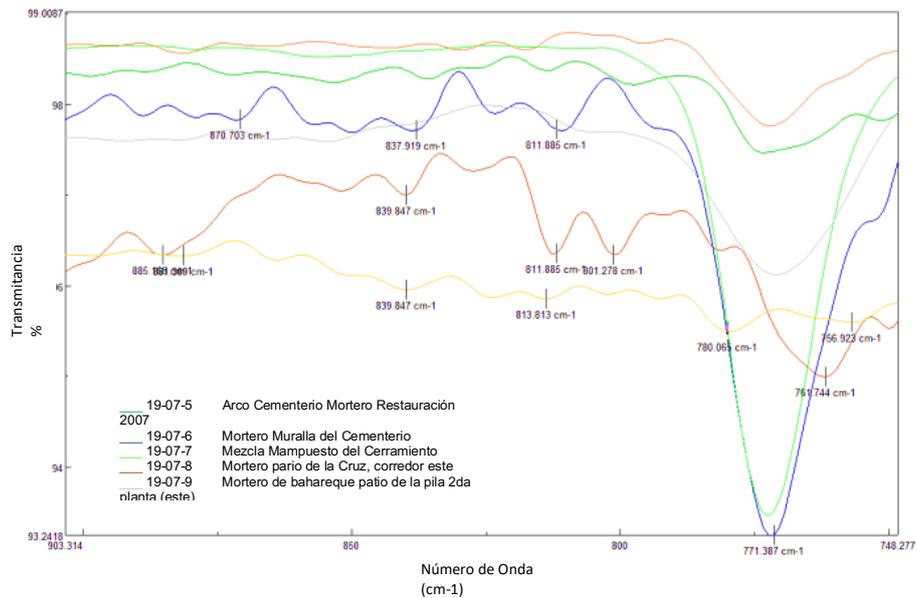


Figura. 19. Espectros de las muestras vs el mucilago cocido rango entre 960 - 600  $\text{cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

Para el análisis de la presencia de cal, igualmente se compararon los estándares de cal apagada con las muestras entregadas al laboratorio. En todos los casos existe presencia de cal en los morteros. Para ejemplificar se mostrará el estándar de cal apagada durante meses, con las muestras arco cementerio mortero restauración 2007, mortero muralla del cementerio y mezcla mampuesto del cerramiento, que equivalen a los morteros de la etapa constructiva más antigua.

Las muestras que no contienen en sí los principales picos del nopal, se han comparado con la cal apagada, los resultados se muestran a continuación.

**Rango espectral desde 3700 – 2760  $\text{cm}^{-1}$**

Podemos observar que los picos en  $3640 \text{ cm}^{-1}$  correspondiente a un enlace Ca-O-H, propio de la cal hidratada, además de un pico en  $3400 \text{ cm}^{-1}$  propio de un enlace O-H.

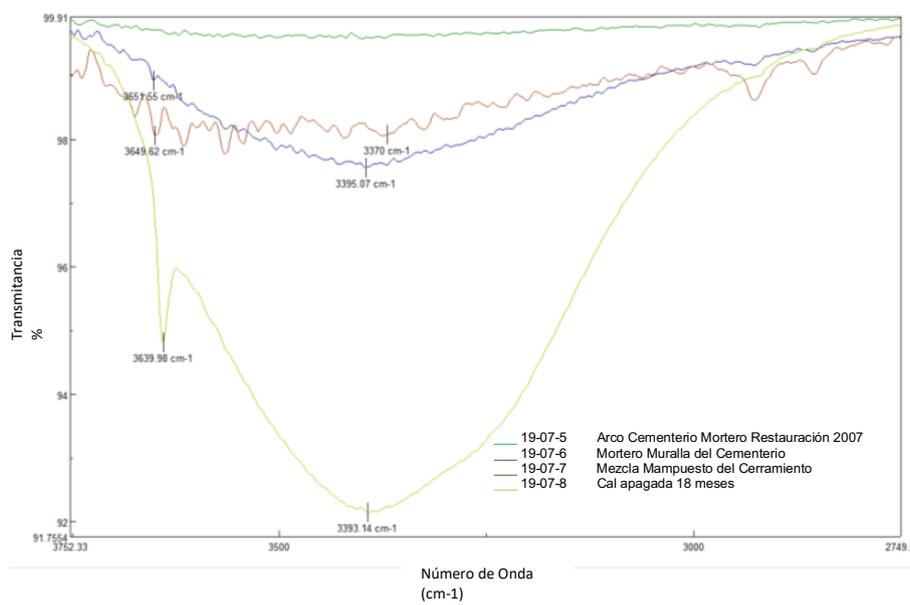


Figura. 20. Espectros de las muestras vs cal apagada rango entre  $3700 - 2760 \text{ cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

**Rango espectral desde 1740 – 1560  $\text{cm}^{-1}$**

Dentro de los mismos espectros, podemos observar que a  $1647 \text{ cm}^{-1}$  existe un enlace Ca=O.

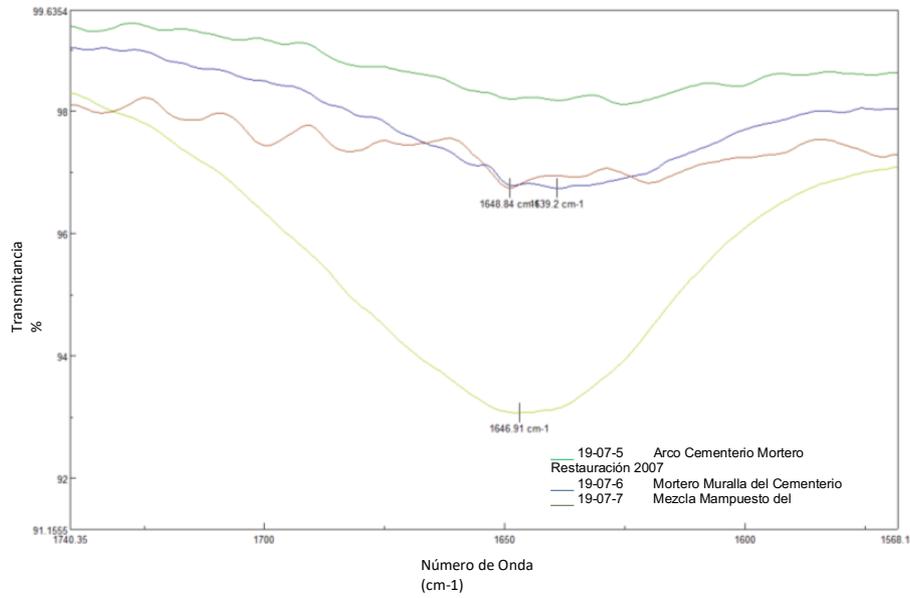


Figura. 21. Espectros de las muestras vs cal apagada rango entre 1740 - 1560  $\text{cm}^{-1}$ .  
 Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

**Rango espectral desde 1560 – 1270  $\text{cm}^{-1}$**

En el análisis además existe otro pico a 1420  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde a Ca-O

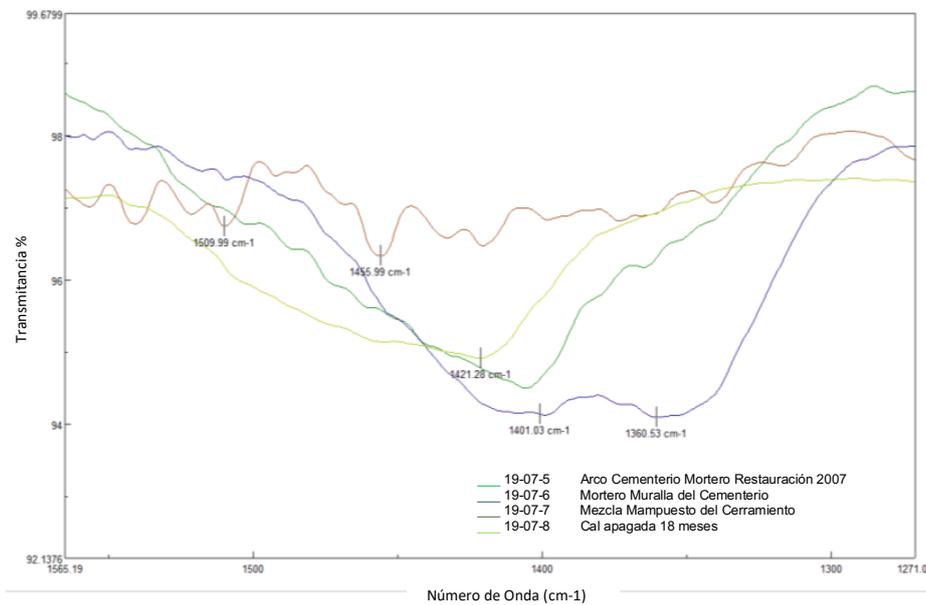


Figura. 22. Espectros de las muestras vs cal apagada rango entre 1560 - 1270  $\text{cm}^{-1}$ .  
 Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

**Rango espectral desde 880 – 600  $\text{cm}^{-1}$**

Por último, existen picos no tan definidos, cuyas bandas están a 870  $\text{cm}^{-1}$ , 750  $\text{cm}^{-1}$  y entre 680 a 620  $\text{cm}^{-1}$ , cuyos enlaces podrían corresponder a uniones Ca-O.

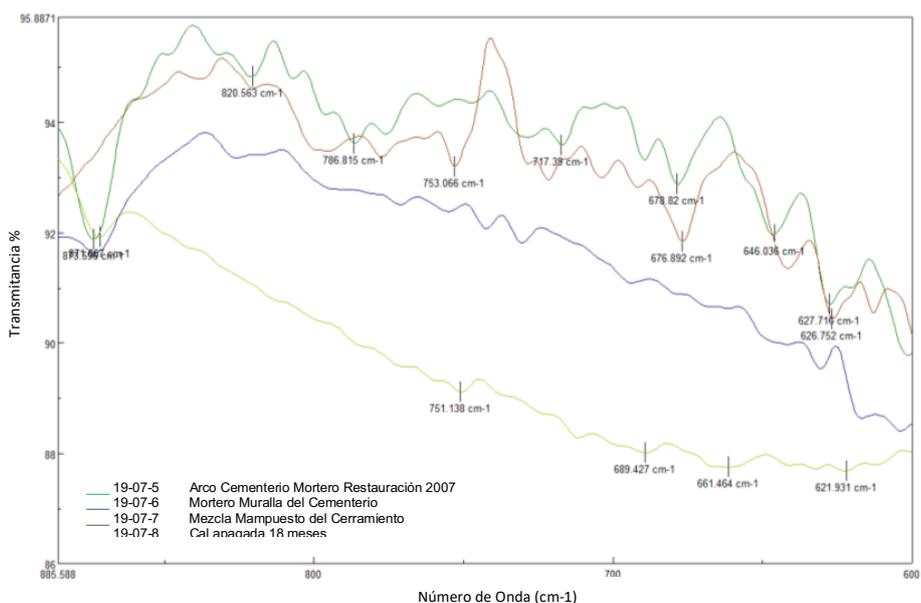


Figura. 23. Espectros de las muestras vs cal apagada rango entre 880 - 600  $\text{cm}^{-1}$ .

Nota: Fuente: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC, 2020

### Resumen de resultados y discusión

En resumen, las bandas  $1455,99 \text{ cm}^{-1}$  corresponde a alcohol (C-O),  $1375,96 \text{ cm}^{-1}$  (C-O) éster y  $1102,12 \text{ cm}^{-1}$  (HO-COO) ácido carboxílico presentes en las muestras Mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (norte) y Mortero Mamposterías sala de acceso al teatro 2da Planta. Las bandas que comparten las muestras y el mucilago son:  $1593,88 \text{ cm}^{-1}$  (N-H) Amino,  $1516,74 \text{ cm}^{-1}$  (C-O) Alcohol,  $1396,21 \text{ cm}^{-1}$  (C-O) éster,  $1240,97 \text{ cm}^{-1}$  (HO-COO) ác. Carboxílico,  $1035,59 \text{ cm}^{-1}$  (C-O) Alcohol,  $771 \text{ cm}^{-1}$  (C-C) carbonos ramificados,  $685,57 \text{ cm}^{-1}$ , y  $621 \text{ cm}^{-1}$  (C-C) carbonos lineales.

Los grupos alcohol, ácidos carboxílicos, además de los hidrocarburos formados de carbonos ramificados y lineales señalan aproximadamente una molécula compleja de azúcares, cuyos datos fueron corroborados al momento de comparar por espectroscopia FTIR-ATR con una muestra patrón de nopal, cuyos metabolitos o componentes se asemejan con los grupos funcionales encontrados en las muestras medidas.

A partir de los resultados expuestos anteriormente, los grupos funcionales encontrados corresponden a materiales orgánicos de origen natural, asociados al nopal por las semejanzas encontradas al patrón medido. Este nopal comparado fue aquel que previamente estuvo a temperaturas de ebullición, disolviendo estos azúcares y dejándolos en solución. Una vez obtenida esta mezcla, es más fácil de untar en conjunto con pajas y arcilla, para obtener un mortero óptimo en una proporción adecuada.

La combinación empleada en el mortero, en una proporción apropiada, logra mejorar gracias a las propiedades del azúcar, ciertas propiedades mecánicas, de adhesividad y cohesión.

Por lo antes expuesto, se puede asegurar que las muestras de mortero analizadas contenían materia orgánica semejante al nopal sometido a calentamiento, estas muestras corresponden a: arco cementerio mortero restauración 2007 (19-07-05), mortero muralla

del cementerio (19-07-06), mezcla mampuesto del cerramiento (19-07-07), mortero patio de la cruz corredor este (19-07-08), mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (este) (19-07-09), mortero de bahareque patio de la pila 2da planta (19-07-10).

### Conclusiones

Se puede asegurar que las muestras de mortero analizadas contenían materia orgánica semejante al nopal, estas muestras corresponden: al arco del cementerio mortero utilizado en la restauración del 2007, mortero de la muralla del cementerio, mezcla del mampuesto del cerramiento, mortero del patio de la cruz, del corredor este, mortero de bahareque del patio de la pila 2da planta (este), mortero de bahareque del patio de la pila 2da planta.

El análisis espectral de las muestras de mortero anteriores y el patrón de mucilago cocido coinciden en un alto porcentaje, razón por la cual podemos aseverar que comparten el mismo comportamiento químico.

Mediante el análisis organoléptico se pudo apreciar el comportamiento en conjunto del mucilago y la cal en una proporción desconocida, otorga una mejor plasticidad, la adhesividad y mantiene la humedad del mortero, razón por la cual persisten hasta la actualidad, con un grado mínimo de deterioro.

### Referencias bibliográficas

- Abraján Villaseñor, M. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (Opuntia ficus-índica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. España: Universitat Politècnica de València,
- Abraján Villaseñor, M. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (Opuntia ficus-índica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. España: Universitat Politècnica de València,
- Aguilar Reynosa, A., & Rodríguez, A. (2010). *Caracterización de propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, y propiedades de barrera a los gases de películas comestibles elaboradas a partir de mucilago de Salvia hispánica y pectina cítrica./*. Saltillo.
- Cadena, J. F. (2016). *Estudio del mortero de pega usado en el Cantón Cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Charles-Rodríguez, A., Aguilar-González, C., Rodríguez-Herrera, R., Rodríguez-Martínez, J., & Carlos Contreras-Esquivel, J. (s.f.). *Caracterización de mucilago de aloe barbadensis para su aplicación médica*.
- García de Miguel, J. M. (15 de 07 de 2015). *La conservación del patrimonio de la obra civil al inicio del siglo XXI y sus riesgos*. Retrieved from [blogs.upm.es/gisci/wp-content/uploads/sites/15/2015/07/-conservación-del-patrimonio-de-la-obra-civil-al-inicio-del-siglo-XXI-y-sus-riesgos-1.pdf](https://blogs.upm.es/gisci/wp-content/uploads/sites/15/2015/07/-conservación-del-patrimonio-de-la-obra-civil-al-inicio-del-siglo-XXI-y-sus-riesgos-1.pdf)

- Hernández, E., Pfeiffer Perea, H., & Cano Barrita, P. (2018). Influencia del mucilago de Nopal y extracto de algas cafés en el grado de hidratación de pastas de cemento portland ordinario. *Nexo Revista Científica*, 30(2), 73.
- Hernández, J., Coronado, A., López, T., & Horta, J. (2008). *Mejoramiento de Morteros a Través de Nopal*. Retrieved from [https://www.google.com/search?q=HERN%C3%81NDEZ-Zaragoza%2C+J.+B.%2C+Coronado-M%C3%A1rquez%2C+A.%2C+L%C3%B3pez-Lara%2C+T.+%26+Horta-Rangel%2C+J.+\(2008\).+Mejoramiento+de+Morteros+a+Trav%C3%A9s+de+Nopal&oq=HERN%C3%81NDEZ-Zaragoza%2C+J.+B.%2C+Coronado-M%C3%A1](https://www.google.com/search?q=HERN%C3%81NDEZ-Zaragoza%2C+J.+B.%2C+Coronado-M%C3%A1rquez%2C+A.%2C+L%C3%B3pez-Lara%2C+T.+%26+Horta-Rangel%2C+J.+(2008).+Mejoramiento+de+Morteros+a+Trav%C3%A9s+de+Nopal&oq=HERN%C3%81NDEZ-Zaragoza%2C+J.+B.%2C+Coronado-M%C3%A1)
- Kennedy Troya, A., & Ortiz Crespo, A. (2010). *Recoleta de San Diego de Quito. Historia y restauración*. Quito: Ediciones FONSA.
- León, F. (2010). *Secado por aspersión de mucilago de nopal (Opuntia ficus indica) y su efecto en las propiedades reológicas de los polvos reconstituidos*. (Tesis de maestría). Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca: Instituto Politécnico Nacional.
- Madera-Santana, T., Vargas-Rodríguez, L., Núñez-Colín, C., González-García, G., Peña-Caballero, V., Núñez-Gastélum, J., Rodríguez-Núñez, J. (2018). Mucilage from cladodes of *Opuntia spinulifera* Salm-Dyck: chemical, morphological, structural and thermal characterization. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 650-657.
- Martinez, W., Alonso, E. M., Rubio, J. C., Bedolla, J. A., Velasco, F. A., Torres, A. A., & Martinez. (2008). Comportamiento mecánico de morteros de cal apagada artesalmente, adicionados con mucilago de cactácea y ceniza volcánica, para su uso en restauración y conservación de monumentos. *Revista de la construcción*, 6.
- Masschelein - Kleiner, L. (2004). *Los solventes*. Retrieved from [http://www.cncr.cl/611/articles-4953\\_archivo\\_01.pdf](http://www.cncr.cl/611/articles-4953_archivo_01.pdf)
- Matteini, M., & Moles, A. (2001). *La Química en la Restauración: Los Materiales del Arte Pictórico*. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=D7mMueTik38C&pg=PA100&lpg=PA100&dq=transformaci%C3%B3n%20de%20hidr%C3%B3xido%20de%20calcio%20en%20carbonato&source=bl&ots=z8GL3nOejn&sig=zjD7T\\_VRqwiAkuVj6qiosXYiRbQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiHyM\\_dwfLcAhVGpFkKHxN-DR4Q6AEwD](https://books.google.com.ec/books?id=D7mMueTik38C&pg=PA100&lpg=PA100&dq=transformaci%C3%B3n%20de%20hidr%C3%B3xido%20de%20calcio%20en%20carbonato&source=bl&ots=z8GL3nOejn&sig=zjD7T_VRqwiAkuVj6qiosXYiRbQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiHyM_dwfLcAhVGpFkKHxN-DR4Q6AEwD)
- PEE-LABINPC-04. (2010). *Procedimiento Específico de Ensayo del Laboratorio del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural para análisis por espectroscopia infrarroja*.
- Pérez Castellanos, N., & Lima Muñoz, E. (2013). *Diseño y evaluación de consolidantes para el Patrimonio pétreo de origen volcánico*. Mexico.
- Ramos, I. D. (2015). *La piel de la arquitectura de tierra*. (Tesis Doctoral). Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Rodriguez-Felix, A., & Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition*.

- Sáenz, C. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma.
- Skoog, D., Holler, J., & Nieman, T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental* (Quinta ed.). Madrid: McGraw – Hill.
- Torraca, G. (1981). *Solubilidad y disolventes en los problemas de conservación*. Roma: ICCROM.
- Vargas-Rodríguez, L., Arroyo Figuerueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., G., & Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. (2016). *Propiedades físicas del mucílago de nopal Retrieved from*  
[https://www.google.com/search?safe=active&ei=IUv8XY\\_aOc2a\\_Qb377OICw&q=Propiedades+f%C3%ADsicas+del+muc%C3%ADlago+de+nopal&oq=Propiedades+f%C3%ADsicas+del+muc%C3%ADlago+de+nopal&gs\\_l=psy-ab.12..0i22i30l2j0i333l3.4644.4644..8613...0.0..0.192.566.0j3.....0](https://www.google.com/search?safe=active&ei=IUv8XY_aOc2a_Qb377OICw&q=Propiedades+f%C3%ADsicas+del+muc%C3%ADlago+de+nopal&oq=Propiedades+f%C3%ADsicas+del+muc%C3%ADlago+de+nopal&gs_l=psy-ab.12..0i22i30l2j0i333l3.4644.4644..8613...0.0..0.192.566.0j3.....0).
- Villalobos Ruiz, R. (2014). *Morteros de cal con mucílago de nopal (opuntia ficus-indica) como aditivo: evaluación de las propiedades mecánicas en base al método de extracción empleado*. Universidad Autónoma de San Luis De Potosí.

**Fecha de envío:** 22/03/2020

**Fecha de revisión:** 27/09/2020

**Fecha de aceptación:** 26/12/2020