



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

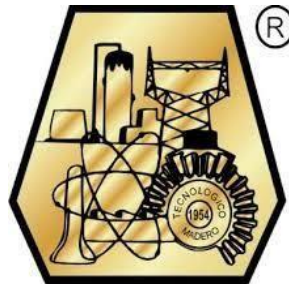


TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"

## TESIS

### "MORTERO DE TIERRA, MODIFICADO CON EXTRACTOS ORGÁNICOS APLICADO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES"

Que para obtener el grado de  
**Maestra en Ciencias de la Ingeniería**

Presenta

**Ing. Mildred Michelle Navarro Reyes**  
**G15071550**  
**No. CVU 1086754**

Director de Tesis

**Dra. Silvia Beatriz Brachetti Sibaja**  
**No. CVU 1086707**

Co-director de tesis

**Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez**

Ciudad Madero, Tamaulipas, **09/junio/2022**

**OFICIO No.:** U.090/22  
**ASUNTO:** AUTORIZACIÓN DE  
IMPRESIÓN DE TESIS

**C. MILDRED MICHELLE NAVARRO REYES**  
**No. DE CONTROL G15071550**  
**P R E S E N T E**

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su Examen de Grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

**"MORTERO DE TIERRA, MODIFICADO CON EXTRACTOS ORGÁNICOS APLICADO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES"**

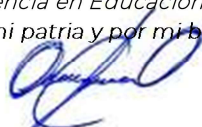
El Jurado está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTA:	DRA.	SILVIA BEATRIZ BRACHETTI SIBAJA
SECRETARIO:	DR.	JOSUÉ FRANCISCO PÉREZ SANCHÉZ
VOCAL:	DR.	ULISES PÁRAMO GARCÍA
SUPLENTE:	DR.	PEDRO MARTÍN GARCÍA VITE
DIRECTORA DE TESIS:	DRA.	SILVIA BEATRIZ BRACHETTI SIBAJA
CO-DIRECTOR:	DR.	JOSUÉ FRANCISCO PÉREZ SANCHÉZ

Es muy satisfactorio para la División de Estudios de Posgrado e Investigación compartir con usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*"Por mi patria y por mi bien"®*



**MARCO ANTONIO CORONEL GARCÍA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Archivo  
MACG 'LFCS'



Av. 1° de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz S/N Col. Los Mangos C.P. 89440 Cd. Madero, Tam.

Tel. 01 (833) 357 48 20, ext. 3110, e-mail: [depi\\_cdmadero@tecnm.mx](mailto:depi_cdmadero@tecnm.mx)

[tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [cdmadero.tecnm.mx](http://cdmadero.tecnm.mx)



## **DEDICATORIA**

A Dios, por la razón de mi existencia, fuente de luz y  
sabiduría.

A mi esposo Héctor por su amor y por brindarme la fuerza  
para vencer los obstáculos y lograr mi meta.

A mis Padrinos por el apoyo incondicional durante este  
tiempo de formación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante dos años (1086754), correspondiente a la beca de maestría y por su apoyo al proyecto “Funcionalización Sustentable de Materiales Tecnificados para la Mejora del Hábitat Rural Basados en la Construcción con Tierra” con número de convenio 315372 que fue beneficiado en la Convocatoria 2020 “Proyectos de Investigación e incidencia para una vivienda adecuada y acceso justo al hábitat”.

Agradezco al Tecnológico Nacional de México – Tecnológico de Ciudad Madero, por las facilidades prestadas para el uso de las instalaciones en Campus 3, también al apoyo brindado a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por la facilitación de trabajar en el Laboratorio de Investigación de Nuevos Materiales Aplicados.

Agradezco a mis padres Genoveva Reyes y Ernesto Navarro (†) por su amor y dedicación, y porque a través de su esfuerzo me han permitido alcanzar esta meta y lo que sueñas se puede lograr son mi mayor inspiración para culminar la maestría.

Agradezco a mis hermanos por siempre brindarme la ayuda cuando la necesite y estuvieron pendientes de mí en la trayectoria para llegar a esta meta.

Le agradezco a mi esposo por convertirse en una parte importante de mi vida, por brindarme su ayuda siempre que la necesito y estar a mi lado en los momentos más difíciles y darme ánimos para que nunca me diera por vencida, no fue sencillo culminar con este proyecto, sin embargo, siempre fuiste mi motivación para terminar mi maestría.

Agradezco a mi directora de Tesis, Dra. Silvia Beatriz Brachetti Sibaja por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y guía continua durante el desarrollo de la investigación de la presente tesis; gracias por todo el apoyo, los ánimos, el tiempo y paciencia brindada para poder concluir de manera satisfactoria con este sueño. Gracias por su entusiasmo, dedicación y disposición para orientarme durante estos dos años.

Agradezco a mi codirector de Tesis Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez, por confiar en mí, animarme a superarme constantemente, por su amabilidad, su tiempo, paciencia y la disposición para resolver mis dudas, sin sus correcciones, experiencia y consejos no hubiera sido posible la elaboración de esta tesis y también por la amistad entablada durante este tiempo.

Al Dr. Pedro Martín García Vite, al Dr. Ulises Paramo García y a la Dra. Diana Palma Ramírez que con sus observaciones, comentarios y sugerencias contribuyeron a mejorar en gran medida éste trabajo.

Agradezco al Dr. Jaime Eduardo Sosa Sevilla por brindarme su tiempo, dedicación y atenciones a lo

largo de mi experimentación, quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo y ofrecerme su ayuda desinteresadamente, así también por aportar considerablemente en mi proyecto, y por los buenos momentos en los que convivimos, una gran persona que agradezco a Dios pusiera en mi camino.

Agradezco a todas las personas que de cierta forma colaboraron conmigo y también forman parte de este trabajo: Julio Cesar Mateo Santiago, Jorge Daniel Tovar, Pedro Flores Becerra y Emmanuel Bazán. Así también a mis compañeras real que me brindaron su apoyo incondicional en esta investigación.

¡Muchas Gracias!

# **“Mortero de tierra, modificado con extractos orgánicos aplicado en elementos estructurales”**

Ing. Mildred Michelle Navarro Reyes

## **Resumen**

El objetivo de este proyecto de tesis fue elaborar un mortero a base de tierra, modificado con mucílago de nopal, estabilizado con cal, adicionando extracto de rábano rojo, con la finalidad de proporcionar un efecto antimicrobiano y además la interacción con iones en medio acuoso salino.

Los extractos fueron purificados y caracterizados mediante espectroscopia ultravioleta – visible (UV – vis), resonancia magnética nuclear (RMN); así como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con el fin se determinó la presencia de fenoles y antocianinas totales. Posteriormente, se realizó una mezcla de tierra con suelos finos base limoso y arcilloso, estas mezclas se trabajaron en dos líneas diferentes, una estabilizada con cal y una sin estabilizar en relaciones 70:30 y 70:20:10 y se realizaron bloques de tierra comprimida (BTC). A cada una de estas mezclas se le añadió los extractos de mucílago y de rábano en concentraciones de 5, 10 y 15 (% p), mismos que se les aplicaron pruebas de resistencia a la compresión y abrasión, así como, absorción de agua y porosidad relativa. Con las mezclas propuestas se logró obtener una resistencia máxima a la compresión de 5.44 MPa y un coeficiente a la abrasión de 6.46 m<sup>2</sup>/kg en los bloques que contenían mayor porcentaje de extracto de mucílago y estaban estabilizados, mismos que soportaron a las condiciones extremas de humedad y presentaron un 12.64% en porosidad relativa, los bloques TM<sub>15</sub> y TCM<sub>15</sub> pueden ser implementados en muros de carga. Finalmente, en la prueba de inhibición de hongos el mortero que contenía mucílago y rábano con estabilizante (TCMR<sub>15</sub>) presentó menor ataque microbiano, lo que resalta que el rábano es efectivo como tratamiento preventivo contra los hongos y dicha mezcla puede ser utilizada para los revestimientos de las viviendas. La interacción con iones se estudió para cloruros, carbonatos y sulfatos que son característicos en zonas con ambientes salinos. Se determinó que, para estos iones las mezclas con extracto de rábano al 15% estabilizan la interacción y permite que no se filtren hacia el interior de la probeta si no que se mantienen en la superficie del elemento de tierra y esto permitirá la combinación de materiales como el acero, para brindar un método de prevención de la oxidación en la estructura de refuerzo de las edificaciones.

# **“Earth mortar, modified with organic extracts applied in structural elements”**

Ing. Mildred Michelle Navarro Reyes

## **Abstract**

The objective of this thesis project was to develop an earth-based mortar, modified with nopal mucilage, stabilized with lime, adding red radish extract, in order to provide an antimicrobial effect and also the interaction with ions in saline aqueous medium.

The extracts were purified and characterized by ultraviolet-visible spectroscopy (UV-vis), nuclear magnetic resonance (NMR); as well as Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in order to determine the presence of total phenols and anthocyanins. Subsequently, a mixture of soil with fine silty and clay base soils was made, these mixtures were worked in two different lines, one stabilized with lime and one without stabilized in ratios 70:30 and 70:20:10 and earth blocks were made compressed (BTC). Mucilage and radish extracts were added to each of these mixtures at concentrations of 5, 10 and 15 (% w), which were subjected to compressive and abrasion resistance tests, as well as water absorption and relative porosity. With the proposed mixtures, it was possible to obtain a maximum compressive strength of 5.44 MPa and an abrasion coefficient of 6.46 m<sup>2</sup>/kg in the blocks that contained the highest percentage of mucilage extract and were stabilized, which withstood the extreme conditions of humidity and presented 12.64% in relative porosity, the TM<sub>15</sub> and TCM<sub>15</sub> blocks can be implemented in load-bearing walls. Finally, in the fungus inhibition test, the mortar containing mucilage and radish with stabilizer (TCMR15) presented less microbial attack, which highlights that radish is effective as a preventive treatment against fungi and this mixture can be used for coatings of the dwellings. The interaction with ions was studied for chlorides, carbonates and sulfates that are characteristic in areas with saline environments. It was determined that, for these ions, the mixtures with 15% radish extract stabilize the interaction and allow them not to leak into the interior of the test tube but remain on the surface of the earth element and this will allow the combination of materials. such as steel, to provide a method of rust prevention in the reinforcing structure of buildings.

# Índice general

	Pág.
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de tablas .....	xvi
Capítulo 1. Introducción .....	1
Capítulo 2. Marco teórico .....	4
2.1. Mortero.....	4
2.1.1. Composición del mortero .....	4
2.2. Tipos de morteros.....	5
2.2.1. Morteros convencionales.....	6
2.2.2. Morteros alternativos.....	6
2.2.3. Usos y aplicaciones del mortero.....	7
2.3. Mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus- indica</i> ) .....	7
2.3.1. Composición del mucílago del nopal .....	8
2.3.2. Usos y aplicaciones del mucílago del nopal.....	9
2.3.3. Fenoles totales en el mucílago de nopal .....	9
2.4. Rábano rojo ( <i>Raphanus sativus</i> ).....	10
2.4.1. Composición del extracto de rábano .....	10
2.4.2. Usos y aplicaciones del extracto de rábano rojo .....	11
2.5. Antocianinas del rábano .....	11
2.6. Generalidades de la construcción con tierra.....	13
2.7. Caracterización de los extractos .....	13
2.7.1. Caracterización por espectroscopia ultravioleta visible (UV-vis).....	13
2.7.2. Caracterización por resonancia magnética nuclear (RMN) .....	14
2.7.3. Caracterización por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	14
2.8. Sistema unificado para la clasificación de los suelos (SUCS).....	14
2.9. Límites de Atterberg.....	15



2.9.1. Límite líquido .....	15
2.9.2. Límite plástico .....	15
2.9.3. Índice de plasticidad .....	15
2.9.4. Contracción lineal .....	16
2.10. Pruebas mecánicas .....	16
2.10.1. Pruebas de resistencia a la compresión .....	16
2.11. Pruebas físicas .....	16
2.11.1. Resistencia a la abrasión .....	16
2.11.2. Absorción de agua .....	17
2.11.3. Porosidad relativa .....	17
2.12. Hongos .....	17
2.13. Iones .....	18
Capítulo 3. Estado del arte .....	19
Capítulo 4. Metodología .....	23
4.1. Materiales, equipos y reactivos .....	23
4.2. Obtención y caracterización de extractos .....	24
4.2.1. Extracto del mucílago del nopal .....	24
4.2.2. Obtención del extracto de rábano rojo .....	25
4.3. Caracterización de los extractos obtenidos .....	25
4.3.1. Cuantificación de antocianinas totales por UV-vis del extracto de rábano .....	25
4.3.2. Cuantificación de fenoles totales por UV-vis del mucílago .....	26
4.3.3. Caracterización de extractos por resonancia magnética nuclear (RMN) .....	26
4.3.4. Caracterización de extractos por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) .....	27
4.4. Preparación y caracterización del mortero .....	27
4.4.1. Diseño de experimentos .....	27
4.5. Pruebas físicas y mecánicas .....	29
4.5.1. Resistencia a la compresión .....	29
4.5.2. Resistencia a la abrasión .....	30

4.5.3. Absorción de agua .....	30
4.5.4. Porosidad relativa .....	31
4.6. Pruebas antimicrobianas.....	31
4.6.1. Aislamiento de cepas.....	32
4.6.2. Prueba contra hongos .....	32
4.7. Interacción de iones en medio acuoso a través del mortero de tierra.....	32
4.7.1. Cloruros.....	32
4.7.2. Carbonatos.....	33
4.7.3. Sulfatos.....	34
4.8. Límites de Atterberg.....	35
4.8.1. Límite líquido.....	35
4.8.2. Límite plástico.....	35
4.8.3. Índice de plasticidad.....	36
4.8.4. Contracción lineal .....	36
Capítulo 5. Análisis y resultados .....	39
5.1. Obtención de extractos orgánicos.....	39
5.2. Purificación de antocianinas del rábano rojo ( <i>Raphanus sativus</i> ) y fenoles del mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	39
5.3. Caracterización de los extractos orgánicos .....	41
5.3.1. Determinación del contenido de antocianinas y fenoles en los extractos orgánicos mediante UV-vis.....	41
5.3.2. Análisis RMN de los extractos obtenidos .....	45
5.3.3. Determinación de grupos funcionales por FTIR .....	47
5.4. Caracterización del suelo .....	50
5.4.1. Límites de consistencia .....	50
5.5. Pruebas de resistencia mecánica .....	51
5.5.1. Resistencia a la compresión .....	51
5.5.2. Resistencia a la abrasión .....	54
5.6. Pruebas físicas .....	56

5.6.1. Absorción de agua.....	56
5.6.2. Porosidad relativa.....	58
5.7. Pruebas antimicrobianas.....	59
5.7.1. Aislamiento de cepas.....	59
5.7.2. Prueba contra hongos y levaduras.....	60
5.8. Pruebas de interacción de iones en medio acuoso a través del mortero de tierra .....	63
5.8.1. Cloruros.....	63
5.8.2. Carbonatos.....	65
5.8.3. Sulfatos.....	67
Conclusiones.....	69
Referencias.....	71
Anexos .....	79

# Índice de figuras

	Pág.
Figura 2.1. Planta de nopal y sus partes.....	8
Figura 2.2. Estructura de la amilopectina, presente en el mucílago del nopal.....	8
Figura 2.3. Imagen del rábano rojo [30]. ....	10
Figura 2.4. Estructura base de las antocianinas donde los sustituyentes R1 y R2 se describen en la Tabla 2.2. y definen a los diferentes tipos de antocianina [34].....	12
Figura 4.1. Diagrama de flujo de la elaboración del mortero. ....	23
Figura 4.2. Espectrofotómetro UV-vis Cary 60, empleado en la caracterización. ....	25
Figura 4.3. Máquina universal computarizada que se utilizó en las pruebas de resistencia del mortero.....	29
Figura 4.4. Cuchara Casagrande y el acanalador con el que se determina el límite líquido.....	35
Figura 4.5. Bastones formados para determinar el límite plástico.....	36
Figura 4.6. Medición del molde para determinar el límite de contracción. ....	37
Figura 4.7. En el (a) vaciado del material con la muestra límite líquido y (b) límite de contracción. ....	37
Figura 4.8. Medición del bloque final para la determinar de la contracción lineal. ....	38
Figura 5.1. Imágenes (a) de la extracción del <i>Raphanus sativus</i> y (b) maceración de <i>Opuntia ficus indica</i> .....	39
Figura 5.2. Proceso de purificación de antocianinas, (a) homogenización, (b) activación, (c) filtración y (d) el lavado.....	40
Figura 5.3. Purificación de fenoles en tamiz molecular, (a) filtración del extracto y (d) el lavado con HCl 0.01%.....	40
Figura 5.4. Evaporación de disolvente y concentración de antocianinas en el extracto, siguiendo en orden alfabético de la imagen. ....	41
Figura 5.5. Fenoles del mucílago de nopal, determinados por colorimetría por método de Folin Denis-Ciocalteu.....	42
Figura 5.6. Curva de calibración del ácido gálico con una correlación del 99.67%.....	43
Figura 5.7. Espectros UV-vis del mucílago de nopal de la solución de fenol. ....	44
Figura 5.8. Espectros UV-vis del extracto de rábano rojo.....	45
Figura 5.9. Espectros de <sup>1</sup> H de RMN del mucílago de nopal purificado. ....	46

Figura 5.10. Espectros de <sup>1</sup> H de RMN del extracto purificado del rábano. ....	47
Figura 5.11. Espectros FTIR del mucílago de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ). ....	48
Figura 5.12. Espectroscopia infrarroja del rábano rojo ( <i>Raphanus sativus</i> ). ....	49
Figura 5.13. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión promedio resultante en las muestras de BTC con distintas proporciones de extractos. ....	52
Figura 5.14. Comportamiento del espécimen en la resistencia a compresión, a) antes de iniciar y b) después de la prueba. ....	52
Figura 5.15. Prototipo de vivienda sustentable con BTC y cubierta de lámina. ....	53
Figura 5.16. Proceso de prueba de abrasión, donde se determinó el coeficiente de resistencia a la abrasión de los BTC. ....	54
Figura 5.17. Coeficiente de abrasión de los BTC con extractos de mucílago y rábano. ....	55
Figura 5.18. Proceso preliminar a la prueba de absorción de agua. ....	56
Figura 5.19. Proceso de prueba de absorción de agua durante 24 horas. ....	57
Figura 5.20. Porcentaje de porosidad relativa de los bloques de tierra comprimida. ....	59
Figura 5.21. Imagen de <i>Candida albicans</i> utilizada para la prueba de hongos y levaduras. ....	59
Figura 5.22. Imagen macroscópica de la superficie del mortero de TCMR <sub>15</sub> . ....	60
Figura 5.23. Prueba de hongos con blancos, en el (a) el mortero de referencia con tierra y sin estabilizar, en (b) imagen microscópica de la superficie, (c) muestra de referencias con tierra, estabilizado con cal y (d) el recubrimiento del mortero por el hongo. ....	61
Figura 5.24. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 5%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie. ....	61
Figura 5.25. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 10%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie. ....	62
Figura 5.26. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 15%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie. ....	62
Figura 5.27. Micrografía del cultivo <i>alternaria</i> con tinción (aumento 40X). ....	63
Figura 5.28. Determinación de cloruros por el método de Mohr. ....	64
Figura 5.29. Estado físico de los núcleos de tierra después de las pruebas de remoción de cloruros. ....	65

Figura 5.30. Inicio del análisis de interacción de carbonatos en las muestras.....	66
Figura 5.31. Valoración de carbonatos, a) iniciando con la muestra, b) alícuota con indicador y c) titulación con ácido clorhídrico 0.02 N.....	66
Figura 5.32. Determinación de carbonatos bajo la norma NMX-AA-036-SCFI-2001 [83].....	67
Figura 5.33. Curva de calibración del sulfato. ....	68
Figura 5.34. Determinación de sulfatos bajo la norma NMX-AA-074-SCFI-2014 [84].....	68

# Índice de tablas

Pág.

Tabla 2.1. Valores nutricionales en una porción de 100 g de rábano crudo [31]. .....	11
Tabla 2.2. Sustituyentes de R <sub>1</sub> y R <sub>2</sub> en la estructura química de las antocianinas [34]. .....	12
Tabla 4.1. Reactivos empleados.....	24
Tabla 4.2. Nomenclatura de las muestras. ....	28
Tabla 4.3. Matriz experimental.....	28
Tabla 5.1. Absorbancias de la curva de calibración del ácido gálico. ....	42
Tabla 5.2. Resumen de las señales en el espectro infrarrojo del mucílago de nopal. ....	48
Tabla 5.3. Resumen de las señales en el espectro infrarrojo del extracto de rábano rojo.....	49
Tabla 5.4. Resultados del límite líquido y plástico.....	50
Tabla 5.5. Índice de plasticidad. ....	50
Tabla 5.6. Contracción lineal. ....	50
Tabla 5.7. Clasificación del suelo a utilizar.....	51
Tabla 5.8. Bajada de cargas de una propuesta de vivienda.....	53
Tabla 5.9. Resultados de prueba a la abrasión.....	55
Tabla 5.10. Resultados promedios del porcentaje de absorción de agua.....	58

## Capítulo 1. Introducción

El sector de la construcción con materiales base cemento, genera un gran impacto ambiental debido a que, durante la producción de las materias primas, se emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, así mismo se consumen cantidades considerables de energía. Por esta razón, se buscan alternativas para aprovechar de forma adecuada los recursos que ofrece la naturaleza y reemplazar el uso de materiales que dañan el ambiente.

El uso de tierra aporta una disminución del impacto ambiental, dado que se evita la alteración de los ecosistemas al reducir el uso de suelos arcillosos provenientes de ríos y lagos. Las construcciones con tierra permiten regular las variaciones de temperatura al interior de la vivienda y de igual forma es un material que permite un ambiente tranquilo al tener capacidad de aislamiento acústico. Por consiguiente, se busca rescatar los métodos de construcción tradicionales que contribuyan en el bienestar económico, social y ambiental de comunidades que no cuentan con un acceso justo a la vivienda adecuada. De forma general, se estudian métodos para mejorar los elementos constructivos base tierra, en términos de resistencia mecánica y durabilidad, mediante la adición de estabilizantes y componentes orgánicos. Algunos ejemplos de esto son, el uso del bagazo de caña para reemplaza el cemento en la producción de argamasa [1] otro caso es la cascarilla de maíz la cual es eficiente para mejorar las propiedades de aislamiento térmico y acústico de la edificación [2].

En este trabajo se estudió el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-índica*), ya que cuenta con características plastificantes y ralentiza el fraguado del mortero, favoreciendo las propiedades mecánicas del material, por lo cual resultó interesante aplicarlo como aditivo en morteros de cal, para mejorar su adherencia, tanto en estado fresco como endurecido [3–5]. Además, se estudió el efecto de la incorporación del extracto de rábano rojo (*Raphanus sativus*) rico en compuestos antioxidantes que proporcionaron protección contra microorganismos [6]. En investigaciones recientes se estudió el contenido total de antocianinas en el rábano, las cuales se hidrolizan mediante  $\beta$ -glucosaccharasa, para mejorar las capacidades anti proliferativas [7].



Actualmente, la insuficiencia de viviendas adecuadas es el reflejo de la difícil situación económica y social que se vive en algunas zonas rurales, donde las posibilidades de tener una vivienda de calidad, partiendo desde su construcción hasta su mantenimiento, representan una limitante para el desarrollo pleno de la población. Por lo anterior, es necesario buscar alternativas que se adapten a las condiciones físicas, económicas y sociales de los usuarios [8-9]. La mayoría de las viviendas presentan diversos problemas debido al uso de materiales inapropiados, a la alta humedad del ambiente y la ventilación inapropiada, entre otros, que provoca enmohecimientos, los cuales llegan a afectar la salud de los habitantes del inmueble [10].

El uso de tierra es una alternativa viable en la construcción, debido a que es el material más abundante y disponible en el planeta y que ha permitido que al menos un tercio de la población se sustente en la construcción con materiales regionales [11]. Las técnicas de construcción con tierra como el bahareque y el adobe, han sido retomadas como un medio para resolver algunos problemas socio ambientales [12]. Para este material se han estudiado técnicas modernas que permiten el mejoramiento de los sistemas constructivos, es decir, apuntan al objetivo de aumentar la vida útil de las edificaciones.

El propósito de este proyecto fue elaborar un mortero a base de tierra, modificado con mucílago de nopal, estabilizado con cal, adicionando extracto de rábano. Dichos extractos orgánicos representan una alternativa para proporcionar un efecto antimicrobiano y favorecer la interacción de iones en medio acuoso salino sin comprometer las propiedades mecánicas de los elementos constructivos finales. Para lograrlo, se establecieron los siguientes objetivos específicos: obtener los extractos del mucílago del nopal y rábano rojo, caracterizar los extractos por espectroscopia ultravioleta – visible (UV – vis) para determinar el contenido total de fenoles y antocianinas, aplicar resonancia magnética nuclear (RMN); así como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para estudiar su estructura química y determinar las características de los fenoles y antocianinas extraídas; realizar las probetas con mortero de tierra, agregando los extractos orgánicos en diferentes dosificaciones (5, 10 y 15% p) y determinar la resistencia a la compresión, a la abrasión y finalmente realizar las pruebas de interacción en medio acuoso salino, así como pruebas microbiológicas.

El presente proyecto de investigación está distribuido en cinco capítulos; en el primero se encuentra una Introducción al tema del mortero de tierra, generalidades como la descripción del problema que se busca solventar, el efecto antimicrobiano y la interacción de iones en medio

acuoso. El segundo capítulo corresponde al Marco teórico, que presenta definiciones relevantes, algunos términos comunes y conocimientos generales del mortero de tierra. En el capítulo tres se presenta el Estado del arte usado como referencias directas, para demostrar una perspectiva general de la aplicación de los materiales a emplear en el presente trabajo, mientras que en el cuarto capítulo se describe la parte experimental que se seguirá para la obtención, purificación y caracterización de los extractos, la producción de las mezclas y bloques de tierra comprimida y el análisis de sus propiedades mecánicas, describiendo las condiciones de trabajo y las técnicas a emplear. Finalmente, en el quinto capítulo se presenta la sección de Análisis y Resultados que dan pie a las Conclusiones. Así mismo se evidenció que el extracto de mucílago con mayor porcentaje resultó ser un buen aditivo para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y el extracto de rábano rojo, resultó potenciar el efecto antimicrobiano y la interacción con iones.

## Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se presentan las generalidades del mortero como elemento constructivo, así como las propiedades de los materiales que se emplearán en el estudio. También se hace referencia a las diferentes tipologías de la construcción con tierra y se presentan de forma general los conceptos más relevantes que fundamentan los objetivos de la investigación.

### 2.1. Mortero

El mortero es uno de los materiales de construcción más antiguos, que permite que se construyan grandes estructuras a partir de componentes pequeños y fáciles de manejar. Fue utilizado por los romanos, griegos y egipcios y el ejemplo más antiguo puede remontarse hasta 10,000 años a.C. en Israel. Se denomina mortero a aquella pasta formada por la combinación de materiales cementantes, agregados y aditivos, que mezclados con una cantidad conveniente de agua dan lugar a una masa plástica. Es uno de los elementos de uso más común en construcción debido a su gran versatilidad; es posible encontrar una gran variedad de morteros que se diferencian según su composición y a la función para la cual son preparados. Estos pueden ser empleados como material de revestimiento (mortero para revoque o repello), como relleno (mortero de relleno o *grouting*) o para unir unidades de mampostería (mortero de pega). En la actualidad, el mortero más común es aquel que se prepara con cemento, arena y agua. Se caracteriza por ofrecer una mayor resistencia debido a su proceso de secado rápido y a su dureza final [13].

#### 2.1.1. Composición del mortero

La composición del mortero depende del cementante o conglomerante. Este es un material que tiene propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir los agregados y es capaz de unir uno o varios elementos mediante una transformación química con la adición de agua originando

compuestos sólidos. Un ejemplo de conglomerantes son el yeso, cemento y la cal. Además, estos agregados son componentes fundamentales del concreto hidráulico, del concreto asfáltico y de las bases granulares. Sus características afectan no solo las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido sino también el costo de este [14].

Las características de los agregados en cuanto a su forma, textura y gradación influyen en la maleabilidad, en el acabado, en la exudación y en la segregación del concreto fresco, los cuales afectan la resistencia, la rigidez, la retracción, la densidad, la permeabilidad y durabilidad del concreto en estado sólido [15]. Además, los aditivos también son parte de la composición del mortero, donde su función es aportar propiedades mecánicas tanto en estado fresco como endurecido. Los aditivos son materiales distintos del agua, de los cementos hidráulicos y del refuerzo de fibras que se emplean como ingredientes del mortero y que se agregan a la mezcla antes o durante el mezclado. Los aditivos para los morteros están regidos en la norma NMX-C-199-ONNCCE-2010 [16], los cuales pueden clasificarse según las propiedades que aportan como son [17]:

- Aireante, modificadores del contenido de aire.
- Plastificantes, modificadores de la reología en estado fresco.
- Retardantes, modificadores del tiempo de fraguado y endurecimiento.
- Hidrofugantes, minimizadores de la absorción de agua.
- Retenedores de agua, aumentan la capacidad de retención de agua.
- Resinas, Aumento de la adherencia, elasticidad e impermeabilidad.

El agua de los morteros debe tener la menor cantidad posible de sustancias orgánicas y sales para evitar la carbonatación del material. La más recomendable para la elaboración de morteros es el agua corriente, debido a que presenta una mayor oxigenación, así como una menor cantidad de materiales orgánicos y sales. Del total del agua que participa en la elaboración del mortero, una parte es absorbida por los áridos y la cantidad restante se le denomina agua libre [18].

## **2.2. Tipos de morteros**

Los tipos de mortero se distinguen por dos familias: los aéreos y los hidráulicos; los primeros

endurecen por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación. Las proporciones cal y arena más usadas en morteros aéreos son 1:2 para revoques y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta, el mortero es más magro, pierde ductilidad y maleabilidad; lo que genera contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en revestimientos. La arena constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar grietas y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla.

Los morteros hidráulicos, también llamados acuáticos, endurecen bajo agua, ya que, al igual que los cementos naturales, poseen en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que le permita desarrollar la resistencia inicial relativamente alta [19].

### **2.2.1. Morteros convencionales**

Es una mezcla de cemento, arena, agua y aditivos con proporciones técnicamente controladas, con fluidez y textura en estado fresco, con un adecuado desempeño mecánico en estado endurecido. Ofrece una resistencia garantizada, es de fácil manejo e incrementa la productividad de la mano de obra. Tiene una menor demanda de equipo, así como de espacio para almacenamiento de materiales [20].

### **2.2.2. Morteros alternativos**

Los morteros alternativos para la edificación son factibles y estos sirven como remplazo de agregados finos. Esta alternativa ofrece una ventaja en la etapa de la preparación al producir menos residuos, puesto que puede ser empleada como material inerte, no requiriendo largos tiempos de molienda y procesos a altas temperaturas. Por ejemplo, los bloques de tierra comprimida (BTC), buscancumplir con los requisitos de calidad mencionados en la Norma NMX-C-508-ONNCCE-2015 [21]; en el apartado referente a construcción con materiales de carga para edificaciones. Al cumplir con estas especificaciones se pueden contrastar contra los materiales convencionales estabilizados concementantes y determinar su impacto ambiental [17].

### **2.2.3. Usos y aplicaciones del mortero**

Los morteros se usan en la edificación en una gran variedad de aplicaciones, requiriendo cada una de ellas unos niveles de comportamiento que se han de especificar. Unas aplicaciones son tradicionales y otras no lo son, dando lugar -ambas aplicaciones- a las dos clases de albañilería conocidas como vista (la común tanto en interiores como en exteriores) y albañilería estructural. Para ser aplicados, los morteros no deben experimentar segregación alguna y deben tener buena consistencia, en estado fresco o bien en estado endurecido [22].

### **2.3. Mucílago de nopal (*Opuntia ficus-índica*)**

En el 2019, México fue el principal productor de nopal a nivel mundial, con un consumo de 6.4 kg por año. Las bondades del nopal permiten tenerlo en estado natural en regiones áridas y semidesérticas, el país cuenta con una superficie cultivada con nopal de 12,645 hectáreas, con un rendimiento promedio de 64 toneladas por ha y con un costo rural de 1,724 pesos por tonelada. Los nopales (Figura 2.1) son plantas arbustivas, rastreras o erectas, que pueden alcanzar de 3 a 5 m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización. La planta del nopal se distribuye en América, siendo México el país con mayor abundancia de especies, por lo que se puede considerar como centro de origen y diversidad de esta especie. A partir de la conquista, las mejores variedades fueron llevadas por los conquistadores a Sudamérica y al resto del mundo. Actualmente, las plantas del género *Opuntia* son nativas de varios ambientes, zonas áridas al nivel del mar, así como territorios de gran altura como los Andes del Perú, desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por encima de los 5 °C a las áreas de Canadá, que en el invierno llegan a -40 °C [23].

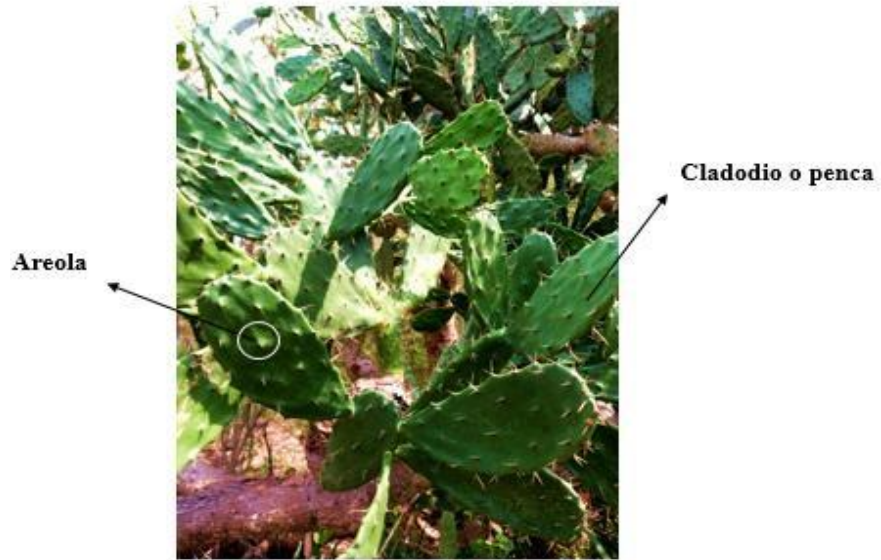


Figura 2.1. Planta de nopal y sus partes.

### 2.3.1. Composición del mucílago del nopal

Es un polisacárido fibroso, se encuentra en las pencas o cladodios, poseen en su interior una sustancia en forma de pulpa (gel), el cual se compone de hidrocoloides presentes en el tejido y tienen la capacidad de retener el agua, ver su estructura en la Figura 2.2.

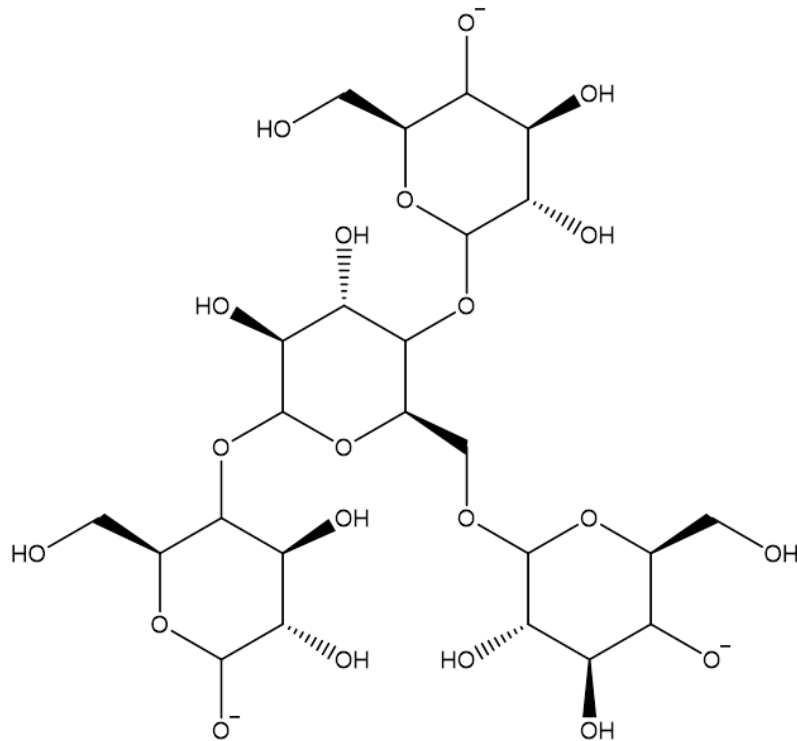


Figura 2.2. Estructura de la amilopectina, presente en el mucílago del nopal.

El polisacárido es una sustancia pegajosa y por lo tanto poco manejable, cada molécula puede contener amilopectina, como su elemento principal y más de 30,000 subunidades de azúcares; los más abundantes tienen cinco o seis átomos de carbono y entre ellos se encuentra 20% de D-galactosa, 44% de L- arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico. Se ha visto que los derivados de los azúcares difieren mucho en el cactus y no muestran ningún orden sistemático de composición [24-25].

### **2.3.2. Usos y aplicaciones del mucílago del nopal**

El mucílago de nopal se utiliza como aditivo natural para mejorar la agregación del suelo, debido a que incrementa la cantidad de cementantes temporales. Lo han usado como aditivo en un mortero inyectable de cal, el cual aumentaba su fluidez, así como sus propiedades mecánicas se ven favorecidas por la interacción de la mezcla de estos materiales. Las mezclas de los morteros de cal con cargas de arena y polvo de mármol se vuelven más maleables sin necesidad de añadir agua. Al fraguar, las muestras presentaron mayor dureza y elasticidad, sin alterar la permeabilidad [26]. En conjunto con extracto de algas marinas café se ha analizado su comportamiento mecánico y durabilidad de concretos con relaciones agua/cemento de 0.30 y 0.60. Los especímenes cilíndricos (100 × 200 mm), elaborados y curados en húmedo por 0 y 28 días y se determinó la resistencia a la compresión, permeabilidad rápida y la difusión de cloruros a los 60 y 120 días. Adicionalmente, realizaron pruebas de carbonatación acelerada en especímenes a 180 días, que fueron expuestos a 23 °C, 60% humedad relativa (RH) y 4.4% de CO<sub>2</sub>. La resistencia a la compresión mostró que únicamente una mezcla de concreto con adición orgánica incrementó su resistencia con respecto al control; así como la permeabilidad rápida a cloruros, difusión de cloruros y carbonatación. Los resultados indican que la durabilidad de los concretos que contenían adiciones orgánicas fue mejorada con respecto al control. Aunado a lo anterior, se tienen aplicaciones como inhibidor de la corrosión de acero en medios alcalinos, donde utilizan diferentes concentraciones de una mezcla de mucílago deshidratado e hidróxido de calcio, resultando una buena inhibición de la corrosión y mejorando la durabilidad del acero [3-4].

### **2.3.3. Fenoles totales en el mucílago de nopal**

Los polifenoles son estructuras complejas; además son los antioxidantes de mayor consumo en



la dieta de humanos, con una alta implicación en la salud pública. Los compuestos polifenólicos son un grupo cercano a 8,000 sustancias, que están clasificados de acuerdo con su estructura. Entre los más importantes están los flavonoides, que poseen una estructura básica C6-C3-C6, como las antocianinas, catequinas y epicatequinas, donde contiene uno o más grupos hidroxilo y la estructura puede variar a ser un polímero de alta masa molecular [27].

Los polifenoles se encuentran en el glucósido y debido a esto son generalmente solubles en agua. Se encuentran en las frutas y hortalizas y además de presentar actividad antioxidante, se ha demostrado que pueden prevenir enfermedades crónicas tales como desórdenes cardiovasculares y neurodegenerativos, cáncer, diabetes tipo 2 y osteoporosis [28].

#### **2.4. Rábano rojo (*Raphanus sativus*)**

Es una planta herbácea (Figura 2.3), que pertenece a la familia de las *Brasicáceas* o *Crucíferas*. La hortaliza contiene compuestos de azufre los cuales son considerados como potentes antioxidantes. Está constituido por carbohidratos, azúcares, fibras dietéticas, proteínas e incluso grasas y flúor. En la medicina unani, greco-árabe e india, es usado como un remedio casero para muchas enfermedades como indigestión, cálculos biliares, entre otras [29].



Figura 2.3. Imagen del rábano rojo [30].

##### **2.4.1. Composición del extracto de rábano**

El rábano tiene compuestos bioactivos únicos que se han reconocido por tener beneficios para la salud como los glucosinolatos (glucorafanina, 4-hidroxi glucobrasicina, glucoerucina,

glucorafasatina, glucobrasicina, 4-metoxiglucobrasicina y neoglucobrasicina) e isotiocianatos (sulforafeno, sulforafano e indol-3-carbinol). Los isotiocianatos son productos de descomposición, debido a la hidrólisis enzimática de glucosinolato por la enzima mirosinasa presente en el rábano. Son bajos en grasas saturadas y colesterol. El extracto estimula la motilidad gastrointestinal debido a la activación de vías muscarínicas; el uso ha sido documentado como un absorbente y también como agente antibacteriano con un amplio efecto antioxidante. En la Tabla 2.1 se muestra la composición nutricional del rábano [31].

Tabla 2.1. Valores nutricionales en una porción de 100 g de rábano crudo [31].

Componente	Contenido(mg/100 g)
<b>Ácido ascórbico</b>	22.8
<b>Niacina</b>	0.30
<b>Riboflavina</b>	0.05
<b>Tiamina</b>	0.005
<b>Vitamina A</b>	3.80
<b>Vitamina B6</b>	0.07

#### 2.4.2. Usos y aplicaciones del extracto de rábano rojo

El rábano se emplea principalmente como alimento en todo el mundo. Dado que cuenta con propiedades biológicas útiles que se usa para potencializar el tratamiento de diversas enfermedades; se usa en actividades antimicrobianas, antioxidantes, antitumorales y antivirales, actúa como antagonistas de la calmodulina, inhibidor del crecimiento, agente anti-hipotensores e inhibidor de la agregación plaquetaria [32].

#### 2.5. Antocianinas del rábano

Las antocianinas representan el grupo más importante de pigmentos naturales solubles en agua distribuidos en el reino vegetal, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la glicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico y en algún caso por un enlace  $\alpha$ -glucosídico. Actúan como indicadores de pH (potencial de hidrógeno), sobre todo en productos donde el  $\text{pH} \leq 4$ . Cada una de ellas exhibe una estabilidad específica, por diferentes factores en su estructura química, ingredientes incorporados o el proceso de transformación

[33].

La estructura de las antocianinas y su característico color naranja rojizo se deben a los glucósidos de antocianidinas conocidas comúnmente como agliconas y están compuestas por anillos aromáticos (Figura 2.4.). La transformación estructural del anillo resulta en las antocianinas conocidas (Tabla 2.2.).

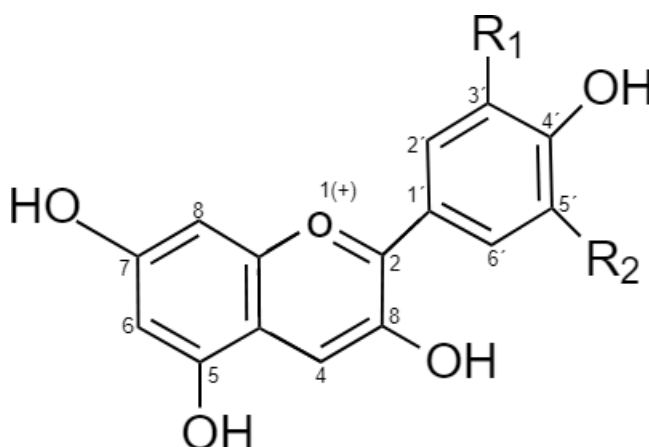


Figura 2.4. Estructura base de las antocianinas donde los sustituyentes R1 y R2 se describen en la Tabla 2.2. y definen a los diferentes tipos de antocianina [34].

Tabla 2.2. Sustituyentes de R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> en la estructura química de las antocianinas [34].

Aglicona	Sustitución		λ máx. (nm)
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Espectro visible
<b>Pelargonidina</b>	H	H	494 (naranja)
<b>Cianidina</b>	OH	H	506 (naranja-rojo)
<b>Delfinidina</b>	OH	OH	508 (azul-rojo)
<b>Peonidina</b>	OCH <sub>3</sub>	H	506 (naranja-rojo)
<b>Petunidina</b>	OCH <sub>3</sub>	OH	508 (azul-rojo)
<b>Malvidina</b>	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	510 (azul-rojo)

El contenido de antocianinas en el rábano rojo se compone principalmente de pelargonidina-3-soforisida-5-glucósido con porciones de ácido malónico, ferúlico o p-cumárico; mientras que las antocianinas secundarias son pelargonidina-3-soforisida-5-glucósidos con porción de ácido ferúlico o p-cumárico [35].

## **2.6. Generalidades de la construcción con tierra**

La construcción con tierra pertenece a la arquitectura vernácula y doméstica, que emplea uno de los materiales más abundantemente disponible en todo el mundo, fácil de reciclar y de un bajo costo. Muchas de las primeras construcciones de la humanidad han sido erigidas, tanto edificios públicos como particulares, palacios, con elementos constructivos basados en tierra, que se caracterizan por la comodidad térmica y la textura cálida de su acabado.

Las edificaciones con tierra difieren dependiendo de la región. Por su peculiaridad ambiental y cultural, cabe mencionar que en algunas regiones abunda el patrimonio construido y en otras se está perdiendo la construcción tradicional al sustituir con materiales constructivos modernos [36]. Aplicando materiales que son sustentable debido a que no genera impacto negativo en el medio ambiente y no agotan los recursos naturales y este al cumplir su ciclo de vida regrese a su estado natural. Se puede emplear materiales locales y en el proceso de secado estos pueden estar al intemperie en vez de en hornos [37].

Estos materiales también reciben otros nombres como: el barro, el cual es formado por arcilla, limo y arena fina. Los bloques de tierra que están formados por gravas, arena y gravilla; los de tierra arcillosa que son fabricados manualmente y por último los de suelo o comprimidos los cuales son moldeados y cocidos en ladrilleras, por lo cual es necesario seleccionar cada una de las técnicas y así obtener un mejor funcionamiento para las áreas correspondientes.

## **2.7. Caracterización de los extractos**

### **2.7.1. Caracterización por espectroscopia ultravioleta visible (UV-vis)**

En la técnica de espectroscopia ultravioleta visible (UV-visible) se presenta el fenómeno de absorción, debido a que la radiación UV es una forma de energía y la absorción de la luz por la materia causa un aumento de energía en las moléculas (o átomos), es decir, en la energía potencial total de la molécula, donde se representa la suma de las energía electrónica, vibracional y rotacional, entonces los fotones tienen la energía suficiente para originar transiciones entre los distintos niveles y las bandas que aparecen en el espectro son amplias debido a la superposición de transiciones vibracionales y electrónicas [38].

### **2.7.2. Caracterización por resonancia magnética nuclear (RMN)**

Es una técnica que permite elucidar las estructuras moleculares de los compuestos bajo estudio, cuyo fundamento radica en la propiedad que poseen algunos núcleos de absorber la energía cuando estos son sometidos a radiofrecuencias, lo cual provoca un tránsito entre niveles de energía, que son resultante de la interacción de un campo magnético externo con las distintas orientaciones del espín nuclear y es muy común en  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  [39].

### **2.7.3. Caracterización por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

La espectroscopia infrarroja detecta las vibraciones y estiramientos que ocurren en los enlaces interatómicos como efecto de la energía absorbida y es útil para determinar los grupos funcionales presentes en un material, ya sea sólido o líquido y se divide en tres regiones: infrarrojo cercano, medio y lejano, vinculado a esto, la región de uso más común el infrarrojo medio que va de  $4000$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  y es susceptible para análisis cuantitativos. Por tanto, en la aplicación de la espectroscopia se produce un haz de luz infrarroja que pasa a través de un interferómetro y después se divide en dos haces separados, donde uno pasa por la muestra y el otro por una referencia, por lo tanto, se reflejan en un detector, pero previo a esto, primero pasan a través de un divisor, el entra en el detector y la señal que se genere se cómo conoce interferograma, el cual contiene la información requerida para reconstruir el espectro por medio de un proceso matemático conocido como transformada de Fourier [40].

### **2.8. Sistema unificado para la clasificación de los suelos (SUCS)**

El método del sistema SUCS es usado para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo, el cual puede ser aplicado en materiales sin consolidar y estos mismos se pueden clasificar como suelos con tamaños de partícula menores de  $0.075\text{ mm}$ . Los suelos se subdividen en grano grueso y fino, los cuales se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N° 200. Si el 50% peso o más del material se retiene en este tamiz, el suelo es grueso, si el 50% o más pasa por la malla, entonces el suelo es fino. Posteriormente al completar la granulometría se obtienen las clasificaciones mayores [41].

## **2.9. Límites de Atterberg**

También conocidos de consistencia, los cuales permiten conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales que deben pasar la malla N° 40 (0.425 mm) durante la prueba granulométrica, estos límites se utilizan principalmente para identificar la calidad del suelo. Se basa en definir el contenido de humedad y se caracterizan cuatro diferentes pruebas de consistencia de suelos de grano fino los cuales son: el estado sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso, dichos límites son basados bajo la norma ASTM C136, 2005. “Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos” [42]. De forma general, se obtienen dos resultados característicos del suelo que son el límite líquido, plástico y el índice de plasticidad, que se describen a continuación.

### **2.9.1. Límite líquido**

Hace referencia a la cantidad de agua requerida para que el suelo fluya en forma de lodo que no se puede moldear o manipular. Se determina el límite de una manera estandarizada mediante una cuchara de Casagrande, el cual es estandarizado bajo la norma UNE 103-103-94 [43], donde se deja caer la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1 cm y se mide la humedad con una hendidura longitudinal con un acanalador normalizado.

### **2.9.2. Límite plástico**

Se determina mediante la formación de pequeños bastones de muestra de suelo que se forma hasta obtener un espesor de 3 mm de diámetro y 6 cm de longitud, los cuales se enrollan hasta el punto de quiebre. El límite es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico, es decir cantidad mínima de agua añadida con la cual el suelo comienza a quebrarse [44].

### **2.9.3. Índice de plasticidad**

El índice de plasticidad (IP), describe el contenido de humedad sobre el cual el suelo es plástico y es la diferencia aritmética entre el límite líquido y plástico que determinaran el intervalo de humedades aceptables [45].

## **2.9.4. Contracción lineal**

Se define como el decremento en longitud de una barra de suelo respecto de su longitud inicial, expresado éste en porciento, cuando el contenido de agua se reduce desde el límite líquido hasta la contracción del suelo. El espécimen es elaborado con una fracción de suelos que pasa por la malla N° 40 [46].

## **2.10. Pruebas mecánicas**

### **2.10.1. Pruebas de resistencia a la compresión**

Es una medida del esfuerzo normal de un material para soportar cargas externas aplicadas de forma transversal. Al basarse en el esfuerzo normal, se determina con la ecuación  $\sigma = P/A$ , donde  $\sigma$  es el esfuerzo, que en este caso representa la resistencia a la compresión ( $N/m^2$ ), P es la carga externa aplicada de forma normal al plano horizontal de la probeta (N) y A es el área de la sección transversal de la probeta vista en el corte del plano horizontal ( $m^2$ ). En el área de la construcción es común encontrar estos datos en MPa o bien reportados en unidades de kilogramo fuerza sobre centímetros cuadrados ( $kg_f/cm^2$ ). Se acompaña de un diagrama denominado curva de esfuerzo contra deformación, ya que al momento de aplicar la carga el material comienza a deformarse en el sentido de la aplicación de la fuerza. Estas curvas son útiles para determinar parámetros como el módulo elástico, el punto de fluencia y el punto de esfuerzo máximo. Este último representa el valor reportado de resistencia y se refiere a la carga máxima soportada por el material antes de su fractura o quiebre. Estas pruebas suelen realizarse en las denominadas máquinas universales, pues un material puede someterse a fuerzas de compresión, tracción o flexión, dependiendo el tipo de material o su uso final en una estructura [47].

## **2.11. Pruebas físicas**

### **2.11.1. Resistencia a la abrasión**

Es una acción que afecta a la superficie de los elementos constructivos, en este caso los BTC, en el cual se presenta el desgaste de manera manual con un cepillo metálico y se realiza un cepillado en un área sometida por un ciclo cada 2 s, en un lapso de 60 s, sin aplicar fuerza vertical. Los factores que pueden influir son las dosificaciones de la mezcla, los agregados, el

acabado y el curado, el método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión se puede encontrar en la norma NMX-C-196-ONNCCE-2010 [48].

### **2.11.2. Absorción de agua**

Es una medida relativa de la absorción por capilaridad de un material. Esta prueba se realizó bajo la norma NMX-C-37-ONNCCE-2013, donde se establece el método para determinar la cantidad de agua absorbida al sumergirse completamente por un periodo de tiempo. Durante la prueba se determina gravimétricamente la cantidad de agua que absorben y esta misma se expresa como coeficiente de absorción [49].

### **2.11.3. Porosidad relativa**

Es una medida que nos indica la capacidad que tiene un material compuesto para permitir el flujo de fluidos a través de sus poros, los cuales se forman en el seno del sólido como consecuencia de la evaporación del agua excedente y al aire que es atrapado durante la mezcla para la fabricación del espécimen [50].

## **2.12. Hongos**

Son un grupo de microorganismos que son muy comunes en las edificaciones y tienden a presentarse en la superficie de las paredes y hasta llegar a afectar la estructura del muro, unas de las características que favorece su crecimiento y están presentes en el medio ambiente, como la temperatura a 25 °C y humedad abundante; además, algunos materiales de construcción por si solos proporcionan nutrientes para el crecimiento de microorganismos, como lo es la pintura, el concreto, entre otros [51]. Los hongos más frecuentes en las edificaciones son: *Penicillium chrysogenum*, *Cladosporium cladosporoides*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus* y *Stachyborys chartarum*, mismos que afectan el confort de la vivienda y presentan un peligro para la salud de las personas que la habitan, debido a que ocasiona enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis [52]. Un ejemplo típico es el síndrome del edificio enfermo, ocasionando síntomas de dolor de cabeza, garganta y nariz. Por tanto, la aparición de moho en las edificaciones puede ser perjudiciales para la salud de las personas que lo habitan y para la estructura de las viviendas [51-52].



### **2.13. Iones**

Son agentes agresivos en la construcción, de manera que provocan el inicio de la corrosión, el cual constituye un factor determinante en el deterioro prematuro de las estructuras como lo es el acero reforzante y el ataque físico en las paredes, causando desprendimientos, fisuras o cristalización de sales en la superficie del material una vez ocurre la evaporación del agua, generan presiones internas en el material que llegan a fracturarlo, ya sea concreto, hormigón y/o mortero. Sin embargo, no sólo inicia con los iones, también la humedad y el oxígeno son parte del proceso de corrosión y degradación de las estructuras. Se debe agregar que las sales más comunes son los sulfatos, carbonatos y cloruro de sodio [55].

## Capítulo 3. Estado del arte

En la época actual se han realizado investigaciones que analizan los agregados de fibra en las propiedades mecánicas de morteros y concretos, esto ha incrementado el interés en el uso de elementos de origen vegetal como fibras de diferentes plantas como una alternativa para reforzar los materiales convencionales. Existen varios estudios sobre la extracción de distintas fibras aplicadas en morteros [56].

L. Guerrero *et al.* (2019), reportaron el desempeño de mezclas de tierra, las cuales se estabilizaron con mucílago de nopal para estudiar si su empleo propicia un secado más lento y estable del producto. Debido aun factor decisivo en el diseño, la estabilidad de las estructuras de tierra se asocia con la velocidad de endurecimiento de material. Estos investigadores observaron un incremento notable en la plasticidad y adherencia de las mezclas, una ralentización del secado que mejora la uniformidad de las superficies, un ahorro en el volumen de agua para un retraso en el tiempo de absorción hídrica por capilaridad cercano al 300%. En la prueba de absorción capilar al comparar dos mezclas, una con mucílago y una con agua, observaron una variación del líquido absorbido en las muestras que contenían mucílago, lo cual ayudo al fraguado del espécimen y esto se debe a que el extracto potencializó ralentización del secado de la mezcla [57].

Así mismo, Y. Aranda *et al.* (2013), realizaron mezclas de tierra para estudiar la estabilización con cemento y mucílago de nopal. Esta adición incrementó significativamente la resistencia a la compresión húmeda y seca hasta un  $61.5 \pm 4.6\%$ . Lo anterior destaca que la porosidad disminuye conforme se incrementa la concentración de mucílago, relacionando un cambio en la permeabilidad del sólido. El efecto del mucílago en la permeabilidad es debido a una inhibición en la interacción entre el agua y el sólido que no permite el ascenso del líquido por capilaridad, dichos bloques no mostraron grietas, cuarteadura, ni aparición de moho [58].

Por otra parte, J. Guillen *et al.* (2019), estudiaron mezclas de suelo, celulosa (papel reciclado) y

extracto de *Opuntia ficus* (mucílago) utilizado como aglutinante y modificaron su pH mediante la adición de cal, llevándolo a una estabilización que contribuyó a la cementación de las partículas. La resistencia a la compresión fue determinada y se comparó con productos comerciales según la norma NMX-C404-ONNCE-2012 [59]. Los materiales presentaron una resistencia a la compresión de 76 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos convencionales para fines no estructurales mostraron una resistencia máxima a la compresión de 60 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>. Además, se obtuvo una disminución de la absorción de 17% de agua y una reducción de peso de hasta un 25% [60].

Y. Díaz-Blanco *et al.* (2019), investigaron el efecto del mucílago de nopal sobre las propiedades electroquímicas del concreto, donde diseñaron tres concentraciones del mucílago con una relación de nopal-agua de 1:1, 1:2 y 1:3, donde obtuvieron una mayor resistencia a la compresión en los hormigones con mayor concentración de nopal, la cual fue obtenida por maceración a 48 horas y una cocción a 95 °C, además de que este aditivo actuó como un retardante del fraguado del concreto y un efecto favorable para retrasar la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón [4].

P. Torres *et al.* (2011), determinaron que el mucílago de nopal es una sustancia impermeable, con la cual se estabiliza la superficie de los adobes, mismo que fue comprobado en el área de experimentación en los rellenos de las plataformas de la zona arqueológica de Teotihuacán, donde se tuvo como objetivo poner a prueba el mucílago en los acabados arquitectónicos de tierra, resultando de gran utilidad en la conservación del patrimonio cultural [61].

P. Cabrera *et al.* (2020), fabricaron mezclas de tierra con cal hidratada y cemento portland, evaluaron la resistencia a compresión del material con diferentes proporciones de la mezcla, donde se observó que al agregar estabilizantes entre el 5 y 10%, se alcanza un nivel de resistencia a la compresión de 15 y 52 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, que cumple con funciones estructurales [62].

Rojas Valencia *et al.* (2019), fabricaron bloques sostenibles a partir de tres tipos de residuos generados en la industria de la construcción: residuos de la tala de madera, proceso de excavación y áridos reciclados, como material de amasado se complementó con extracto de mucílago de nopal usado como aditivo para la manipulación de la mezcla. Estos investigadores observaron que los bloques cumplen con los requisitos de la norma, proporcionando valores de resistencia a la compresión de hasta 8 MPa, obteniendo esta resistencia en los bloques que contenían el aditivo natural el cual mejoro la mezcla [63].

J. Caballero *et al.* (2012), investigaron el efecto en las propiedades de absorción capilar de agua, la pérdida de humedad y el coeficiente de ion cloruro, donde sustituyeron el agua de mezclado por una solución de mucílago de nopal que tenían al 3% en mezclas de concreto, elaboraron tres mezclas al mismo porcentaje y también tres muestras control con relaciones de agua – cemento al 0.30, 0.45 y 0.60. Así mismo, realizaron especímenes con dichas mezclas con un diámetro de 100 mm y una altura de 200 mm. Los resultados obtenidos indicaron que el mucílago de nopal sirve como retardante en el secado del espécimen, debido a esto se redujo significativamente y los coeficientes de difusión de cloruros disminuyeron hasta un 20% en la mezcla de mucílago/cemento en proporción de 0.30; en la relación de 0.45, tuvieron una reducción marginal y la relación 0.60 el coeficiente de difusión fue mayor que el control para los especímenes sin curado en húmedo [64].

R. Ravi *et al.* (2015), reportaron las propiedades mecánicas de bloques de tierra los cuales utilizaron extractos vegetales como bioaditivo, donde estudiaron el extracto de nopal en concentraciones de 25, 50, 75 y 100%, en el cual dicho extracto fue fermentado durante 1 y 2 días. La mezcla que resulto tener mejores propiedades mecánicas fue con una concentración del 75% y con un día de fermentación, con dicha mezcla obtuvieron una resistencia a la compresión del 72% y una resistencia a la flexión en un 60.3%. También, presentó una absorción de agua de 14.6%, por lo cual el extracto de nopal mejora las características mecánicas, limita la absorción de agua y sales por capilaridad en el mortero y también muestra resistencia a los ciclos de cristalización de las sales [65].

J. Safia *et al.* (2013), evaluaron la actividad antimicrobiana del rábano rojo (*Raphanus sativus*), frente a cepas bacterianas patógenas como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bordetella bronchiseptica* y *Enterobacter aerogenes*. Las zonas de inhibición se midieron a través de los extractos en concentraciones de 50 y 100 ppm, de las cuales se comprobó que los extractos etanólicos y metanólicos a concentración de 100 ppm donde presentaron mejor actividad en relación con los otros extractos, cuya actividad se asemeja al producido por el antibiótico de referencia gentamicina [66].

Faiyaz *et al.* (2012), investigaron la potencialidad del extracto de *Raphanus sativus* con diferentes disolventes (etanol, metanol, acetato de etilo, cloroformo, benceno, acuoso caliente y acuoso frío) contra diversas cepas bacterianas patógenas como *E.coli*, *neumonía por Klebsiella*,

*Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphalococcus aureus*, *Shigella sonnie*, *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi*. Los extractos obtenidos con alcoholes etanólico y metanólico, obtuvieron un mejor potencial antimicrobiano contra las bacterias patógenas antes mencionadas, donde las cepas mostraron una inhibición potente de 12 - 21 mm, así como también se obtuvo una inhibición ineficaz de 7 - 9 mm. Obtuvieron como resultado que el extracto de rábano mostro una máxima actividad antibacteriana [67].

A. K. Kumar, *et al.* (2019), reportaron el efecto fitoquímico del extracto de raíz de *Raphanus sativus*, sobre las propiedades antimicrobiana de nanopartículas de ZnO contra la *Escherichia fergusonii*, cepas de *Escherichia coli*, mismas que se pusieron en aplicación para la cicatrización de heridas. La actividad antimicrobiana de las nanopartículas de R-ZnO, RC-ZnO fueron las que obtuvieron mejores propiedades antimicrobianas en comparación con las de ZnO puro contra *Escherichia fergusonii* [68].

R. Goyeneche *et al.* (2015), caracterizaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del rábano rojo, concluyeron que el rábano tiene diversas propiedades beneficiosas y una excelente capacidad antioxidante con un alto contenido de polifenoles y flavonoides, los cuales son compuestos principales de las antocianinas [69].

Finalmente, J. Bojórquez *et al.* (2021), analizaron el proceso de corrosión debido a la erosión de iones cloruro que se presentaron en edificios de hormigón y determinaron la influencia que causa en la estructura de las edificaciones, lo dividieron en cuatro puntos importantes, el primero es cuando se produce la penetración de cloruros en la estructura la cual no se ve comprometida, el segundo, cuando la concentración de cloruros alcanza el nivel crítico para la superficie del acero en la cual se presenta el fenómeno físico del deterioro de la estructura, con el tercer punto la corrosión continua sobre el acero y la cuarta es cuando presentó una fisura en la sección. Los resultados demostraron que la corrosión afecta significativamente la confiabilidad de las construcciones cerca de ambientes salinos [55].

## Capítulo 4. Metodología

En este capítulo se mencionan los diversos materiales y equipos que se utilizaron en el desarrollo de esta investigación, así como el procedimiento de obtención de mortero con mucílago de nopal (*Opuntia ficus- indica*) y extracto de rábano rojo (*Raphanus sativus*).

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo de la elaboración del mortero adicionado con extractos.

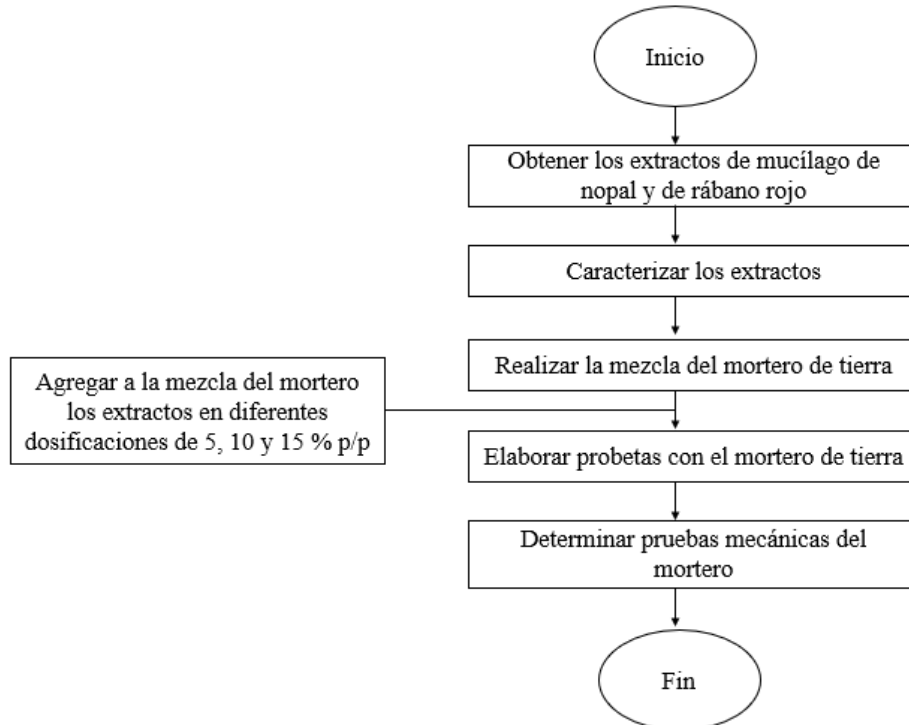


Figura 4.1. Diagrama de flujo de la elaboración del mortero.

### 4.1. Materiales, equipos y reactivos

En la Tabla 4.1 se enlistan los reactivos empleados en el desarrollo experimental.

Tabla 4.1. Reactivos empleados.

<b>Reactivos</b>
Agua destilada y desionizada (Hycel).
Ácido clorhídrico al 37% (Fermont).
Etanol de 96° (Civeq).
Agar dextrosa papa (BD Bioxon)
Carbonato de sodio (Fermont)
Fenolftaleína (Fermont)
Hidróxido de sodio (Merck)
Cloruro de sodio, 99% (JT Baker)
Ácido sulfúrico, 98% (Fermont)
Agua deuterada 99.8% (Sigma-Aldrich)
Arcilla (banco Medrano)
Suelo limoso (banco Medrano)
Cal hidratada

Los equipos utilizados para la obtención de los extractos son:

- Procesador de alimentos marca Black and Decker.
- Centrifuga marca Hettich modelo EBA 21.

Los equipos empleados en la caracterización de los extractos y mortero son:

- Espectrofotómetro UV-vis marca Agilent Technologies modelo Cary 60.
- Espectrofotómetro FTIR marca Perkin Elmer modelo Spectrum One.
- Máquinas de ensayos combinados de tracción y compresión Controls.
- Equipo de resonancia magnética nuclear marca Bruker modelo Ascend 400.

## **4.2. Obtención y caracterización de extractos**

### **4.2.1. Extracto del mucílago del nopal**

En la extracción se utilizó 1 kg de cladodios, que se trozaron en partes pequeñas y se colocaron en un recipiente, se le añadió agua destilada para obtener una mezcla con una relación agua-material crudo en peso de 2:1, se dejó en maceración durante 24 h [70], posteriormente, la mezcla se trituró utilizando un procesador de alimentos. Finalmente, se filtró para eliminar las partículas gruesas usando un tamiz No. 100 (150 µm) y se mantuvo en refrigeración hasta su uso.

#### 4.2.2. Obtención del extracto de rábano rojo

Se mezclaron 421 g de piel de rábano con 1684 mL de una mezcla acidificada (HCl al 1%) de agua-etanol (50/50 %) como medio de extracción. La mezcla se trituró utilizando un procesador de alimentos y después se filtró para eliminar las partículas fibrosas. La relación sólido-líquido fue de 1:4 y el tiempo de la molienda fue de 2 min. El producto de la extracción se sometió a un proceso de centrifugación a 6,000 rpm durante 20 y 10 min para eliminar partículas suspendidas, se dejó reposar por 24 h en refrigeración para preservar sus propiedades [71].

#### 4.3. Caracterización de los extractos obtenidos

##### 4.3.1. Cuantificación de antocianinas totales por UV-vis del extracto de rábano

Posteriormente, a la obtención del extracto se realizó la cuantificación de antocianinas totales por las metodologías descritas por Zhang *et al.* [72], empleando un espectrofotómetro UV-vis marca Agilent modelo Cary 60 (Figura 4.2), cuenta con una lámpara de deuterio y una de wolframio. La mezcla se vertió en una celda de cuarzo de 10 mm para realizar el estudio. La mezcla se ajustó a un pH ácido (pH=1), con la finalidad de llevar las antocianinas a la forma de ion flavilio las cuales presentan coloración. Se tomaron 250 mg de extracto en un tubo para centrífuga, adicionando 12 mL de etanol acidificado (etanol/HCl 1 N en proporción 85:1) y se sometió a 6,000 rpm durante 40 min, posteriormente, se determinó el pH del extracto de manera directa en el tubo, debiendo mantenerse en valor de 1 con HCl 4 N. La mezcla se vertió en un matraz volumétrico y se aforó con 25 mL de etanol acidificado. Se agitó el matraz manualmente por inversión vigorosa.



Figura 4.2. Espectrofotómetro UV-vis Cary 60, empleado en la caracterización.



La cuantificación total de antocianinas del extracto de rábano se realizó con la ecuación 1 [73]

$$\text{Antocianinas totales} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times PM \times DF \times 10^3}{\epsilon \times L} \left( \frac{V}{ms} \right) \quad (1)$$

Donde:

A= Absorbancia  $A_{510 \text{ nm}}(\text{pH } 1.0) - A_{510 \text{ nm}}(\text{pH } 4.5)$ .

PM = Masa molar de la antocianina (433.2 g/mol).

DF = Es el de factor de dilución.

$\epsilon$  = Coeficiente de extinción ( $31600 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ )

L= Longitud (1 cm)

#### 4.3.2. Cuantificación de fenoles totales por UV-vis del mucílago

La cuantificación de fenoles totales se llevó a cabo mediante la técnica espectrofotométrica de Folin Deni's; donde se realizó una curva de calibración, teniendo como referencia al ácido gálico con la que se determinó la concentración presente en el extracto. Se tomó 0.5 mL de mucílago de nopal y se mezcló con 0.75 mL de reactivo Folin-Deni's 1N. Posteriormente, se dejó reposar a temperatura ambiente durante 5 min; en seguida se agregó 0.75 mL de solución de carbonato de sodio al 20%; el cual se trató durante 5 min en ultrasonido y se dejó reposar por 90 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó la dilución en proporción 1:50 con agua destilada. En un espectrofotómetro se midió la absorbancia a 760 nm; los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalente por mL (mg GAE/mL), el análisis se realizó por triplicado para garantizar que tengan las mismas condiciones [74].

#### 4.3.3. Caracterización de extractos por resonancia magnética nuclear (RMN)

En este caso, los materiales sometidos a análisis fueron los extractos naturales con el objetivo de identificar algunas características que confirmen la presencia de amilopectinas presentes en el mucílago y antocianinas en el rábano rojo.

Los extractos se mezclaron en una solución de 30 mg en 0.55 mL de agua deuterada ( $\text{D}_2\text{O}$ ) y se analizaron en un sistema Bruker Ascend 400, con una frecuencia de 400 MHz y secuencia de 30 pulsos electromagnéticos con registro de 64 escaneos a 25 °C.

#### **4.3.4. Caracterización de los extractos**

Para la determinación de los grupos funcionales presentes en los extractos, se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier, marca Perkin Elmer modelo Spectrum 100, empleando la técnica de reflectancia total atenuada (ATR) con resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  y 16 escaneos, en un intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  (FTIR) [75].

### **4.4. Preparación y caracterización del mortero**

#### **4.4.1. Matriz experimental**

La Tabla 4.2 muestra el contenido para cada una de las pruebas y hace mención del porcentaje que se ocupó en cada una de ellas, en la Tabla 4.3 la matriz experimental propuesta en este trabajo. La experimentación inicia con una mezcla base de suelos limoso y arcilloso provenientes del banco Medrano en Altamira, Tamaulipas, México. Esta mezcla base se trabajó en dos líneas diferentes, una estabilizada con cal y otra sin estabilizar. A cada una de estas mezclas se le añadió los extractos de mucílago de nopal y de rábano rojo en concentraciones de 5, 10, 15% p con el objetivo de determinar su efecto en las propiedades de interacción con iones en medio acuoso salino y antimicrobianas, así mismo poder determinar y observar el comportamiento de las mezclas, para identificar que muestras favorecen las propiedades antes mencionadas.

Las probetas de trabajo son bloques de tierra comprimida (BTC) de dimensiones 30 x 15 x 9 cm, fueron preparados en lotes de doce especímenes de acuerdo a lo publicado por Aranda *et al.* [76], con el objetivo de contar con elementos suficientes para observar la repetibilidad en las pruebas mecánicas.

Las relaciones 70:30 y 70:20:10 que se observan en la Tabla 4.3 son las que se especifican en trabajos previos realizados con los mismos materiales regionales, que han demostrado tener las mejores propiedades mecánicas [50-51]. Los bloques se prepararon de forma manual empleando una máquina Cinva Ram la cual puede ejercer una carga máxima de alrededor de 1,270 psi, fue operado por 2 personas [77].

Tabla 4.2. Nomenclatura de las muestras.

ID Prueba	Contenido	ID Prueba	Contenido
<b>Blanco 1 (T)</b>	Tierra	<b>Blanco 2 (TC)</b>	Tierra Cal
<b>TM5</b>	Tierra Mucílago 5%	<b>TCM5</b>	Tierra Cal Mucílago 5%
<b>TM10</b>	Tierra Mucílago 10%	<b>TCM10</b>	Tierra Cal Mucílago 10%
<b>TM15</b>	Tierra Mucílago 15%	<b>TCM15</b>	Tierra Cal Mucílago 15%
<b>TMR5</b>	Tierra Mucílago 2.5% Extracto Rábano 2.5%	<b>TCMR5</b>	Tierra Cal Mucílago 2.5% Extracto Rábano 2.5%
<b>TMR10</b>	Tierra Mucílago 5% Extracto Rábano 5%	<b>TCMR10</b>	Tierra Cal Mucílago 5% Extracto Rábano 5%
<b>TMR15</b>	Tierra Mucílago 7.5% Extracto Rábano 7.5%	<b>TCMR15</b>	Tierra Cal Mucílago 7.5% Extracto Rábano 7.5%

Tabla 4.3. Matriz experimental

ID Prueba	Concentración [%p/p]				
	Mezcla de Suelos (Tierra)		Estabilizante	Extractos orgánicos	
	Arcilla	Suelo limoso		Mucílago	Rábano
<b>Blanco 1 (T)</b>	70.0	30.0	0.0	0.0	0.0
<b>TM5</b>	67.5	27.5	0.0	5.0	0.0
<b>TM10</b>	65.0	25.0	0.0	10.0	0.0
<b>TM15</b>	62.5	22.5	0.0	15.0	0.0
<b>TMR5</b>	67.5	27.5	0.0	2.5	2.5
<b>TMR10</b>	65.0	25.0	0.0	5.0	5.0
<b>TMR15</b>	62.5	22.5	0.0	7.5	7.5
<b>Blanco 2 (TC)</b>	70.0	20.0	10.0	0.0	0.0
<b>TCM5</b>	67.5	17.5	10.0	5.0	0.0
<b>TCM10</b>	65.0	15.0	10.0	10.0	0.0
<b>TCM15</b>	60.0	15.0	10.0	15.0	0.0
<b>TCMR5</b>	67.5	17.5	10.0	2.5	2.5
<b>TCMR10</b>	65.0	15.0	10.0	5.0	5.0
<b>TCMR15</b>	62.5	12.5	10.0	7.5	7.5

T=mezcla de tierra, C=cal, M=extracto de mucílago, R=extracto de rábano.

## 4.5. Pruebas físicas y mecánicas

Las pruebas empleadas en esta sección experimental tienen su fundamento en las normas mexicanas NMX-C-404-ONNCCE-205 (resistencia a la compresión) [78] y NMX-C-37-ONNCCE-2013 (absorción de agua) [49]; además, de la norma colombiana NTC 5324 – 2005 (resistencia a la abrasión) [79].

### 4.5.1. Resistencia a la compresión

Estas pruebas se emplearon para determinar las propiedades mecánicas de las probetas fabricadas, se empleó una máquina universal computarizada marca Controls, modelo Automax Multitest (70-C0019/C13C-04) (Figura 4.3.). De las pruebas empleadas se obtuvo la resistencia a la compresión del material y este se hizo por triplicado para reportar un valor promedio.



Figura 4.3. Máquina universal computarizada que se utilizó en las pruebas de resistencia del mortero.

La resistencia a la compresión se calculó con base en el concepto de esfuerzo normal en mecánica de materiales usando la ecuación 2.

$$R = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde:

R = Representa la resistencia a la compresión (N/m<sup>2</sup>).

F = Carga aplicada (N).

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>).

#### 4.5.2. Resistencia a la abrasión

Esta prueba determinó el tiempo de vida útil de un material con respecto al uso generalizado. Se define en la ecuación 3.

$$C_a = \frac{S}{P_i - P_f} \quad (3)$$

Donde:

Ca = Coeficiente de resistencia a la abrasión (m<sup>2</sup>/kg).

S = Área sometida a la abrasión (m<sup>2</sup>).

Pi = Peso inicial (kg).

Pf = Peso final (kg).

Para esta prueba, se utilizaron tres elementos de cada mezcla, los cuales fueron desgastados con un cepillo de metal en un ciclo de 2 s, por un lapso de 60 s, sin aplicar fuerza vertical. El área de abrasión no excedió más de 2 mm más allá del ancho del elemento abrasivo. Posteriormente al cepillado, los elementos fueron limpiados para retirar el material desprendido y se determinó su masa y así mismo se calculó el coeficiente de abrasión.

#### 4.5.3. Absorción de agua

Este parámetro se refiere al agua que absorbió el material por inmersión y se expresó como porcentaje de humedad relativa usando la ecuación 4.

$$\%H = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) 100 \quad (4)$$

Donde:

%H = Humedad relativa.

Ph = Peso húmedo.

Ps = Peso seco (kg).

Para este experimento, se utilizaron tres probetas de cada mezcla las cuales se secaron a 110 °C por 24 h y se determinó el valor Ps; posteriormente, las muestras se sumergieron en agua desionizada por 24 h para asegurar la saturación y se determinó el valor de peso húmedo. Cabe mencionar que todas las masas se utilizaron en una balanza digital m10-braunker (0.001 kg).

#### **4.5.4. Porosidad relativa**

Este parámetro representa el volumen de poros de un material y se relaciona con la capacidad de adsorción de gases o líquidos; calculándolo con la ecuación 5.

$$\%P = \left( \frac{V_b}{V_a} \right) 100 \quad (5)$$

Donde:

%P = Porcentaje de porosidad relativa.

$V_b$  = Volumen del elemento ( $m^3$ ).

$V_a$  = Volumen de agua adsorbida ( $m^3$ )

Para esta determinación se tomaron los datos obtenidos por el experimento de absorción de agua.

#### **4.6. Pruebas antimicrobianas**

Una vez obtenido el mortero adicionado con extractos de mucílago de nopal y rábano, se analizará el efecto antimicrobiano de cada probeta de mortero, aplicando el método de cultivo vertido en placa, utilizando agar dextrosa-papa como fuente de nutrientes de los microorganismos. Todos los materiales empleados serán esterilizados previamente, mediante vía seca a 150 °C durante 2 horas. En todos los casos, se obtendrán pequeñas muestras de los morteros, las cuales se pasteurizarán en una estufa a 70 °C durante 30 min. Posteriormente, se utilizarán en la siembra del cultivo aplicando el método de antibiograma, colocando en forma triangular, las 3 muestras representativas de cada mortero con ayuda de una pinza previamente esterilizada a la flama.

#### **4.6.1. Aislamiento de cepas**

Se realizó la técnica de agotamiento de asa, bajo el siguiente procedimiento: se agitó el frasco de cultivo; mediante un asa fría que se desinfectó previamente con flameo, se colocó la muestra en la superficie del medio de cultivo, se sembró por estría continua sin recargar el asa, para obtener colonias, este proceso se realizó por triplicado.

#### **4.6.2. Prueba contra hongos**

En el cultivo de hongos se usó agar dextrosa-papa por cada 1000 mL de agua destilada se añadieron 39 g de agar y la mezcla se sometió a un tratamiento térmico hasta llegar a una temperatura de 100 °C, misma que se dejó en ebullición por 1 minuto en agitación constante. Posteriormente, se preparó el ácido tartárico al 10% usando 1 g en 20 mL de agua destilada. El agar y el ácido tartárico se esterilizaron en una autoclave a 15 psi de presión durante 15 minutos. A continuación, se vertió el ácido en el agar y se agitó vigorosamente para después se añadió el agar en las cajas Petri hasta cubrir el fondo de la caja moviéndola 7 veces hacia la derecha, izquierda, hacia arriba y abajo, se dejó solidificar y se agregaron los especímenes para después realizar la siembra con un asa bacteriológica, donde se tomó una muestra de la cepa y se incorporó en el medio.

Los hongos se mantuvieron a 25 °C durante 5 días [80]. Las pruebas antimicrobianas se basaron en el método de discos Bauer & Kirby, utilizados en las pruebas de sensibilidad microbiana determinadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En estas se colocaron tres piezas del mortero en la caja Petri con medio de cultivo y muestra, para su posterior observación en un periodo de tiempo de 3 y 5 días [81].

### **4.7. Interacción de iones en medio acuoso a través del mortero de tierra**

#### **4.7.1. Cloruros**

El seguimiento a la interacción de iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) se realizó por el método de Mohr, aplicando las indicaciones de la norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 “Análisis de agua -determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba” [82]. Se realizó con una disolución al 0.0014 N de NaCl. Así mismo, con el mortero de tierra se diseñaron núcleos para cada muestra, en las cuales se le colocaron alícuotas de 100

mL de la muestra acuosa bajo análisis y se mantuvo en agitación constante aproximadamente a 30 rpm.

Consistió en tomar una alícuota de 10 mL cada 20 minutos, se aforó a 100 mL y se adicionó con 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio ( $K_2CrO_4$  0.014 N). La titulación se realizó con nitrato de plata ( $AgNO_3$  0.014 N), hasta lograr el vire de color de amarillo paja a naranja ladrillo.

La cantidad de cloruros se determinó con la ecuación 6.

$$Cl^- \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{35.453N(A - B)}{V} (FD) \quad (6)$$

Donde:

$Cl^-$  = Cantidad de cloruros en la muestra (mg/l)

A = mL gastados de  $AgNO_3$  en la muestra problema

B = mL gastados de  $AgNO_3$  en el blanco

V = Volumen de muestra (100 mL)

FD = Factor de dilución

#### 4.7.2. Carbonatos

La determinación de carbonatos se realizó por medio de una titulación volumétrica aplicando las indicaciones de la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001 “Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba” [83]. Se inició tomando una alícuota de 5 mL de muestra, se le añadieron 30 mL de agua destilada, posteriormente, se agregaron 10 gotas de fenolftaleína para indicar los carbonatos con una coloración rosada, la cual se tituló con ácido clorhídrico al 0.02 N hasta el vire a incoloro, determinando así la concentración presentes en la muestra con la ecuación 7.

$$\text{Alcalinidad total como } CaCO_3 \text{ en } \frac{mg}{L} = \frac{A * N}{150} (50)(1\ 000) \quad (7)$$



Donde:

A = Volumen total gastado de ácido en la titulación al vire de la fenolftaleína en mL;

N = Normalidad de la disolución de ácido;

150 = Volumen de la muestra en mL;

50 = Factor para convertir eq/L a mg CaCO<sub>3</sub>/L,

1 000 = Factor para convertir mL a L.

#### 4.7.3. Sulfatos

La determinación de sulfatos se realizó aplicando la norma mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014 "Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba" [84]. Esta norma establece los métodos gravimétrico y turbidimétrico para la determinación del ión sulfato en aguas. Inicia con la preparación de la disolución buffer A, para la cual se disolvieron 30 g de cloruro de magnesio, 5 g de acetato de sodio, 1 g de nitrato de potasio y 20 mL de ácido acético, en 500 mL de agua destilada y se aforó a 1,000 mL.

Se tomó 12 mL de la muestra problema y se aforaron a 100 mL con agua destilada, la mezcla se vertió en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se le agregó 20 mL de solución buffer A. Se adicionó cloruro de bario (0.2 - 0.3 g) bajo agitación constante por 1 min, después se dejó reposar durante 5 min, finalmente se le dió lectura a una absorbancia de 420 nm.

El porcentaje de sulfatos presentes en la muestra se determinó con la ecuación 8.

$$\gamma(\text{SO}_4^{2-}) = [\alpha(\lambda) - a] / b \quad (8)$$

Donde:

b = Pendiente de la recta o ajuste

a = Ordenada al origen

$\alpha(\lambda)$  = Absorbancia del ion sulfato a la longitud de onda  $\lambda$

$\gamma(\text{SO}_4^{2-})$  = Concentración de masa del ion sulfato expresada en mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>  
multiplicar por el factor de dilución cuando aplique.

## 4.8. Límites de Atterberg

### 4.8.1. Límite líquido

El LL del suelo se determinó mezclando aproximadamente 100 g de tierra con agua hasta obtener una pasta homogénea, se extendió una porción de la pasta preparada y se incorporó en la copa Casagrande la cual se muestra en la Figura 2.5 y se niveló. Posteriormente se utilizó un ranurador para separar muestra de suelo en el centro y se sometió a 25 golpes controlados con la copa la cual funciona a una velocidad de 2 revoluciones por segundo (rps) y se visualizó si se cierra el canal unos 12 mm, dicha prueba se realizó por triplicado para determinar el límite líquido [44].



Figura 4.4. Cuchara Casagrande y el acanalador con el que se determina el límite líquido.

### 4.8.2. Límite plástico

Para realizar la prueba de LP se siguió lo establecido en la norma ASTM D-4318 [45], donde el suelo fue pasado por el tamiz N° 40. Se tomaron 10 g de muestra y se procedió a enrollar las muestras en forma de bastones de 3 mm aproximadamente, como se muestra en la Figura 2.6, para determinar el límite plástico se emplea la ecuación 9.

$$LP = \frac{PH - PS}{PS} * 100 = \frac{PW}{PS} * 100 \quad (9)$$

Donde:

LP = Límite plástico en %

PH = Peso húmedo de los bastones (g)

PS = Peso seco de los bastones (g)

PW = Peso del agua contenida en los bastones (g)



Figura 4.5. Bastones formados para determinar el límite plástico.

#### 4.8.3. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se obtiene mediante la resta entre el límite líquido y plástico, se empleó la ecuación 10.

$$\mathbf{IP = LL - LP} \quad \mathbf{(10)}$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad (%)

LL = Límite líquido (%)

LP = Límite plástico (%).

#### 4.8.4. Contracción lineal

Para determinar la contracción lineal, se realizó el procedimiento establecido por la norma NMX-C-416-2003 [85]. Se vertió en un recipiente 100 g del suelo previamente tamizado en una malla N° 40, a la cual se le aplicó agua que corresponde al límite líquido y se mezcló hasta obtener un mezclado maleable. Posteriormente, se determinaron las dimensiones interiores del molde rectangular de acero como se muestra en Figura 4.6, se llenó con la mezcla previamente preparada, se enrazó (Figura 4.7) y se dejó secar en el horno por un periodo de 18 h a una

temperatura de  $105 \pm 5$  °C y posterior al secado, se dejó enfriar a temperatura ambiente para desmoldar y finalmente, medir con el vernier la longitud de la barra del material seco, como se muestra en la Figura 4.8.

La contracción lineal se determina de acuerdo con la ecuación 11.

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} * 100 \quad (11)$$

Donde:

CL = Contracción lineal aproximada (%)

$L_i$  = Longitud inicial del interior del molde (cm)

$L_f$  = Longitud final de la barra del suelo seco (cm).



Figura 4.6. Medición del molde para determinar el límite de contracción.



Figura 4.7. En el (a) vaciado del material con la muestra límite líquido y (b) límite de contracción.



Figura 4.8. Medición del bloque final para la determinar de la contracción lineal.

## Capítulo 5. Análisis y resultados

En este capítulo se presenta la sección de resultados obtenidos de los extractos orgánicos, caracterización, elaboración de mezcla del mortero, pruebas mecánicas, antimicrobianas e interacción de iones.

### 5.1. Obtención de extractos orgánicos

En la Figura 5.1 a) se observa el proceso de extracción sólido-líquido del rábano y b) maceración del mucílago de nopal. Una vez obtenidos dichos extractos orgánicos, se realizó la purificación y se caracterizaron mediante espectroscopia ultravioleta visible (UV-vis), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y resonancia magnética nuclear (RMN).

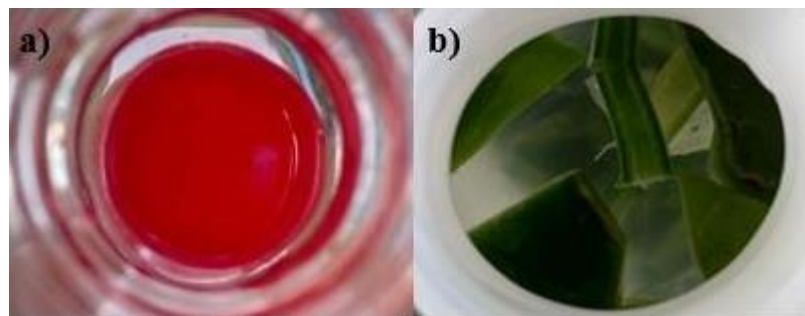


Figura 5.1. Imágenes (a) de la extracción del *Raphanus sativus* y (b) maceración de *Opuntia ficus indica*.

### 5.2. Purificación de antocianinas del rábano rojo (*Raphanus sativus*) y fenoles del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

La Figura 5.2, muestra las cuatro etapas del proceso de purificación del extracto de rábano rojo que se llevó a cabo en el tamiz molecular C-18, mismo que se homogenizó con etanol, seguido

de una activación con una disolución acuosa de HCl al 0.01%, posteriormente se filtró 15 mL de extracto de rábano (48 h) y finalmente, se realizó un lavado con la misma disolución para realizar el arrastre de compuestos deseables en el extracto [82-83].

En la Figura 5.3 se presenta la purificación del extracto de nopal realizando el mismo procedimiento del extracto de rábano rojo.

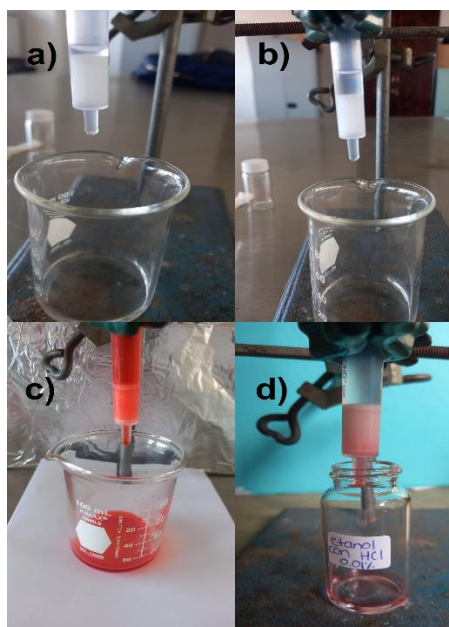


Figura 5.2. Proceso de purificación de antocianinas, (a) homogenización, (b) activación, (c) filtración y (d) el lavado.



Figura 5.3. Purificación de fenoles en tamiz molecular, (a) filtración del extracto y (d) el lavado con HCl 0.01%.

Posteriormente a la purificación de los extractos se realizó la evaporación del disolvente de la muestra final del proceso del tamiz molecular como se puede observar en la Figura 5.4, donde se determinó el rendimiento de la extracción del rábano, como consecuencia se obtuvieron 2445.33 mg/L presentes en el extracto y en el mucílago se obtuvo un rendimiento de 4333.33 mg/L. Las muestras obtenidas al final de la evaporación del disolvente fueron caracterizadas mediante UV-vis, FTIR y RMN, para confirmar los grupos funcionales presentes en el rábano y mucílago, a fin de determinar el contenido de fenoles y antocianinas totales en el nopal y rábano, respectivamente.

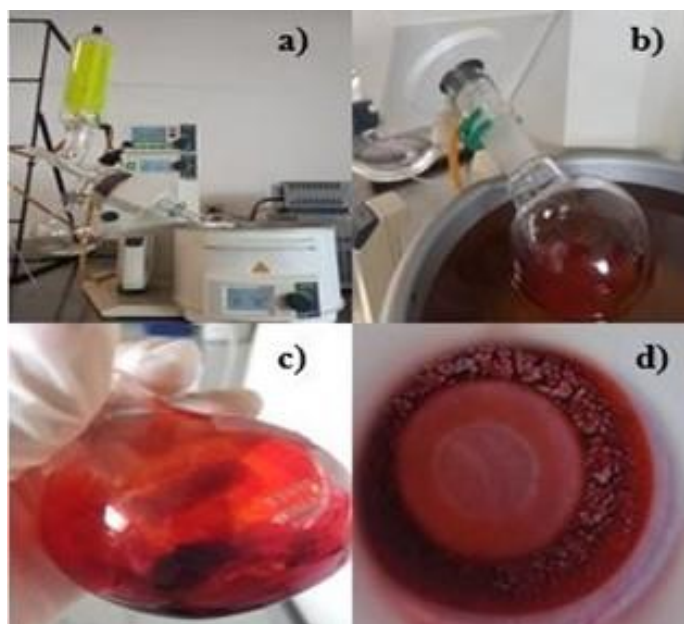


Figura 5.4. Evaporación de disolvente y concentración de antocianinas en el extracto, siguiendo en orden alfabético de la imagen.

### **5.3. Caracterización de los extractos orgánicos**

#### **5.3.1. Determinación del contenido de antocianinas y fenoles en los extractos orgánicos mediante UV-vis.**

Los fenoles totales se determinaron para el mucílago de nopal por colorimetría a través del método de Folin Denis-Ciocalteu. Este método reduce las antocianinas en una solución alcalina, resultando la formación de un complejo de coloración azul (Figura 5.5) [88].





Figura 5.5. Fenoles del mucílago de nopal, determinados por colorimetría por método de Folin Denis-Ciocalteu.

La cuantificación se realizó con una curva de calibración de ácido gálico, como material de referencia, la curva se construyó con ocho puntos de concentraciones de 2, 4, 8, 10, 20, 40, 60 y 80 mg/L. En la Tabla 5.1 se observan las absorbancias de las concentraciones de ácido gálico patrón.

Tabla 5.1. Absorbancias de la curva de calibración del ácido gálico.

Concentración (mg/L)	Absorbancia
2	0.081 ± 0.0014
4	0.210 ± 0.0016
8	0.455 ± 0.0132
10	0.674 ± 0.0004
20	1.207 ± 0.0062
40	2.372 ± 0.0458
60	4.932 ± 0.0245
80	6.870 ± 0.0510

A partir de estos datos se obtuvo a ecuación de correlación, la cual se puede visualizar en la Figura 5.6.

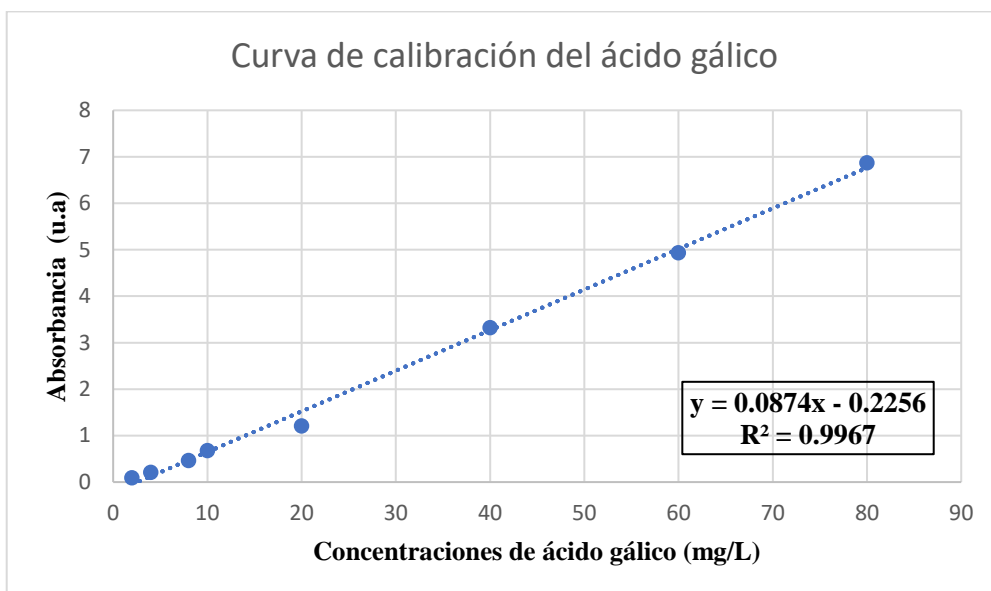


Figura 5.6. Curva de calibración del ácido gálico con una correlación del 99.67%.

Al sustituir en la ecuación de la recta, el valor de la absorbancia máxima a 240 nm resultando en una concentración de 65.91 mg/L de compuestos fenólicos en el nopal.

$$X = \frac{(4.1738 - 0.2256)}{0.0599} = 65.91 \text{ mg/L}$$

Dependiendo el tipo de compuesto fenólico, estos presentan absorciones máximas en longitudes de onda que van desde 240, 350 y 510 nm. En la Figura 5.7 se tiene el espectro del mucílago en una longitud de máxima absorción a 240 nm, dicha señal corresponde a la banda bezoil, es característica del anillo aromático y en la presencia de ácido elenólico, que es un tipo de polifenol, se confirma la presencia de fenoles en dicha longitud como lo reportan R. Palomino *et al.*[84] y E. Fuentes *et al.* [85].

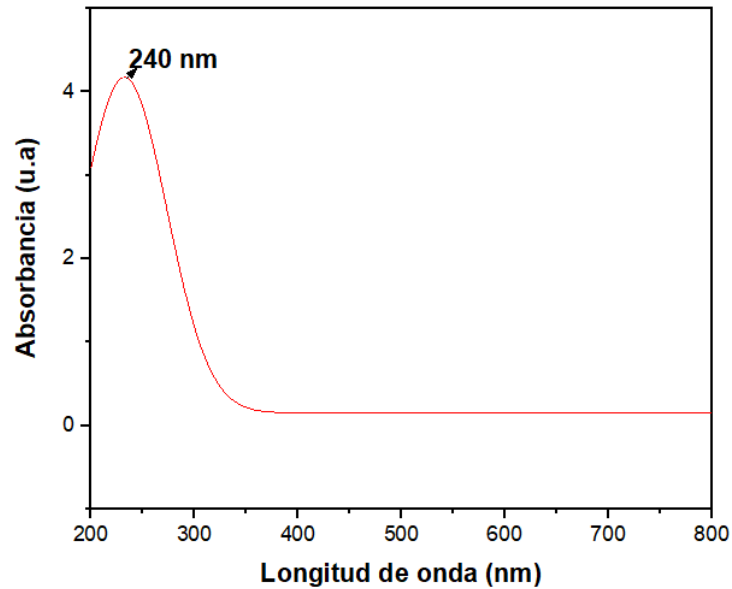


Figura 5.7. Espectros UV-vis del mucílago de nopal de la solución de fenol.

Para determinar el contenido total de antocianinas en el extracto de rábano se aplicó el método de pH diferencial, el cual se basa en el cambio de la coloración y transformación de la estructura de las antocianinas. El extracto fue acidificado a pH 1 y 4.5, donde en 1 se tuvo una coloración rojiza (Figura 5.8, línea verde) y en el 4.5 una solución incolora (Figura 5.8, línea azul); bajo esta diferencia de coloración se permitió obtener la cuantificación de las antocianinas mediante la medida de dos absorbancias de las soluciones a una longitud de onda a 510 nm, la cual es característica de los flavonoides del grupo de las antocianinas y dicha lectura se corroboró con lo reportado por L. Palomino *et al.* [86-87], como se puede observar en la Figura 5.8. Al obtener los resultados se realizó una resta de las absorbancias del pH 1, menos el de 4.5 a partir de esta información se determinó la concentración de las antocianinas con la ecuación 1, se obtuvo un contenido total de  $39,347 \times 10^3$  mg/kg, que están presentes en 421 g de cáscara de rábano base seca.

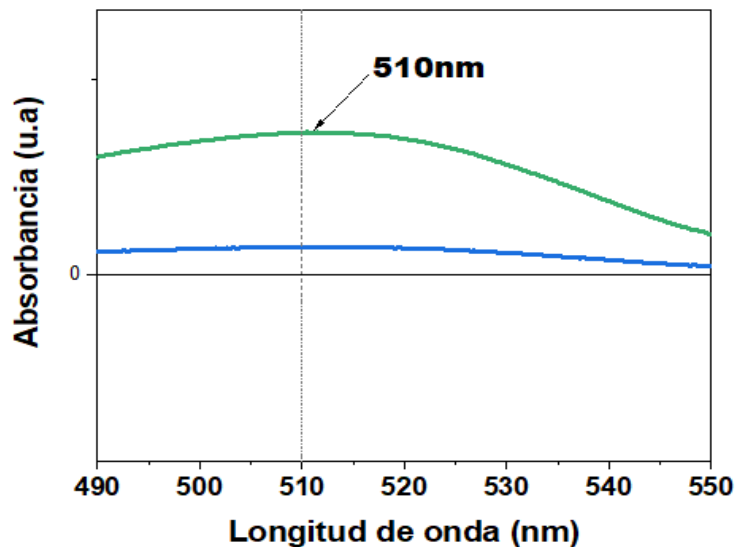


Figura 5.8. Espectros UV-vis del extracto de rábano rojo.

A partir de la ecuación 1

$$\text{Antocianinas} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times 433.2 \times 1 \times 10^3}{31600 \times 1}$$

De los datos del análisis espectrofotométrico se tiene que  $A = 2.2441 - 0.8090 = 1.4351$  por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Antocianinas} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) &= \frac{1.4351(433.2)10 \times 10^3}{31600} \\ &= 196.7358 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \left( \frac{0.05 \text{ L}}{0.00025 \text{ kg}} \right) = 39,347 \times 10^3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

### 5.3.2. Análisis RMN de los extractos obtenidos

En la Figura 5.9 se muestra el espectro RMN  $^1\text{H}$  del mucílago de nopal, donde se observa un desplazamiento químico a 6.4 ppm, que es característico de protones que tienen como vecinos dos oxígenos, como es el caso de la estructura interna de las amilopectinas. Se encontraron, además, señales en 4.3 y 4.2 a 3.4 ppm que se relacionan a la presencia de la unidad

anhidroglicosa; Matsuhiro *et al.* [91], estudiaron este compuesto y asignaron estas señales a la unidad repetitiva de la amilopectina. Además, las señales encontradas en 3.2, 2.5 y 1 ppm, corresponden a los diferentes grupos -OH sustituyentes en la molécula. La señal de mayor intensidad en 4.8 ppm, se asigna al protón residual del disolvente deuterado [92].

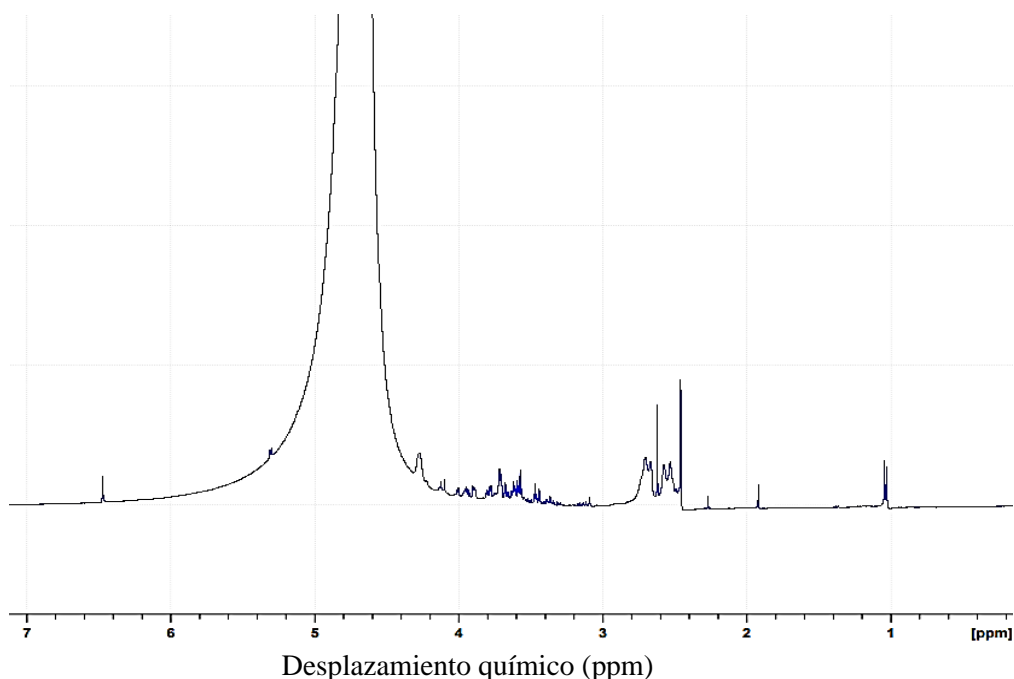


Figura 5.9. Espectros de  $^1\text{H}$  de RMN del mucílago de nopal purificado.

En la Figura 5.10 se muestra el espectro de resonancia del extracto de rábano. En este se pueden observar desplazamientos entre 7 y 7.5 ppm, se atribuyen a los protones de los anillos bencénicos siendo la señal en 8.5 ppm correspondiente al grupo -OH encontrado en el anillo libre y que está desplazado por la posible presencia del sustituyente  $-\text{OCH}_3$  en R1 y R2, lo cual se corrobora con los desplazamientos entre 3.5 y 4 ppm, se comprueba con los datos realizados por Nelson Hurtado *et al.* [93]. Las señales entre 0.5 y 2.2 ppm corresponden a etanol residual del proceso de purificación.

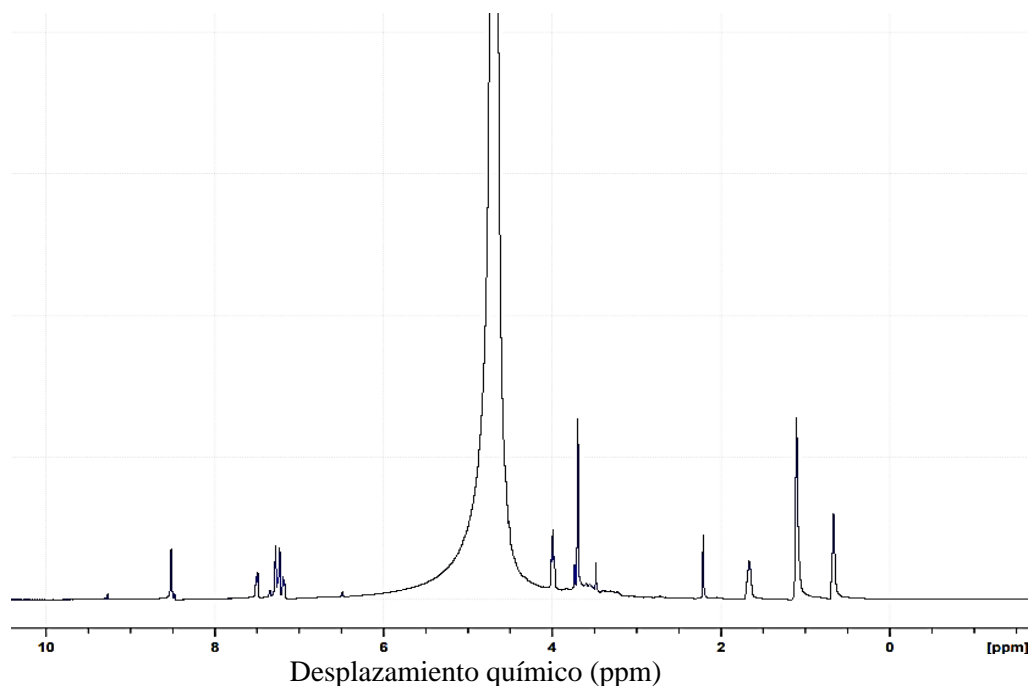


Figura 5.10. Espectros de  $^1\text{H}$  de RMN del extracto purificado del rábano.

### 5.3.3. Determinación de grupos funcionales por FTIR

Este análisis permitió determinar los grupos funcionales de los compuestos en los extractos de rábano y nopal, complementando el análisis por RMN. Se observan señales que pueden relacionarse fácilmente con compuestos éteres, mismos que se encuentran en las estructuras químicas de los extractos, sobre todo, en las antocianinas y amilopectinas. En la Figura 5.11 se muestran los espectros del mucílago del nopal, donde las bandas de grupos son identificadas, de acuerdo con Skoog *et al.* [94] y Contreras-Padilla *et al.* [95], con bandas en  $3300\text{ cm}^{-1}$ , que corresponde al enlace O-H de múltiples grupos hidroxilos asociados en la muestra, siendo esta región donde se reportan los fenoles en número de onda  $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ . En  $2924\text{ cm}^{-1}$  se observó una flexión de banda característico del C-H del grupo metino; en la banda a  $2850\text{ cm}^{-1}$  se atribuye a los metilenos con un estiramiento de  $-\text{CH}_2$ , características de polisacáridos pépticos, así también, se tiene una señal en  $2120\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los enlaces de estiramiento del grupo alcano y una fuerte banda se aprecia a  $1582\text{ cm}^{-1}$ , la cual corresponde a la vibración de estiramiento de los alcanos C-C. En la banda  $1391\text{ cm}^{-1}$  se observan una flexión con vibraciones, el cual corresponde al grupo metileno donde se tiene  $\text{CH}_2$ , y las señales que se presentan en  $1265$  y  $1230\text{ cm}^{-1}$  son estiramientos que se le atribuye

al anillo de la piranosa del grupo de los sacáridos, presentándose el grupo hidroxilo (OH) así mismo una señal a  $1047\text{ cm}^{-1}$  con referencia a carbonilos y finalmente con bandas en 890, 812 y  $613\text{ cm}^{-1}$  las cuales son características del grupo metino (CH), asociado a los azúcares. Se identificaron los grupos funcionales del mucílago de nopal, son característicos de las moléculas de amilopectinas, utilizado como aditivo en la mezcla del mortero, el cual ayuda en la retención de agua, favoreciendo al material. Las señales observadas en las Figuras 5.11 y 5.12 de los espectros infrarrojos en los materiales bajo estudio, se encuentran resumidas en las Tablas 5.2 y 5.3, respectivamente.

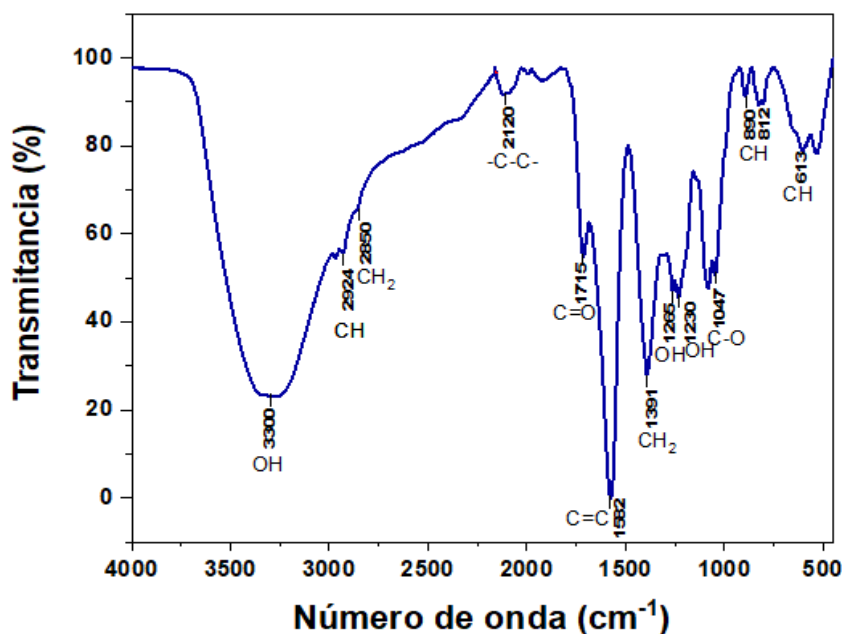


Figura 5.11. Espectros FTIR del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Tabla 5.2. Resumen de las señales en el espectro infrarrojo del mucílago de nopal.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Intensidad	Asignación
3300	Alta	Estiramiento OH
2924	Débil	Flexión CH
2850	Débil	Estiramiento CH <sub>2</sub> , C=C
2120	Baja	Estiramiento -C-C-
1715	Baja	Flexión C=O
1582	Alta	Estiramiento C=C
1391	Media	Flexión CH, H-C-H
1265	Baja	Flexión OH
1230	Baja	Flexión OH
1047	Baja	Estiramiento C-O y C-C
890	Media	Estiramiento CH

812	Baja	Estiramiento CH
613	Media	Estiramiento CH

La señal con un estiramiento a  $2062\text{ cm}^{-1}$  es propia del grupo carbonilo (C-O), en  $1654\text{ cm}^{-1}$  se debe a una flexión del grupo metileno ( $\text{CH}_2$ ), lo cual corrobora la que se presenta en  $2857$  y  $1455\text{ cm}^{-1}$ , que corresponden a la presencia de grupos metoxi ( $\text{OCH}_3$ ), los cuales están presentes en los sustituyentes de la molécula de las antocianinas. Los compuestos orgánicos como los flavonoides se observaron bandas a  $1577$  y  $819\text{ cm}^{-1}$  que se debe a una flexión del grupo carbonilo (C=C), la cual indica la presencia de anillos aromáticos y finalmente en las bandas  $1388$ ,  $1070$ ,  $750$  y  $720\text{ cm}^{-1}$  se presentan grupos metinos (CH), por lo que se logró detectar la presencia de los grupos presentes en la estructura de las antocianinas.

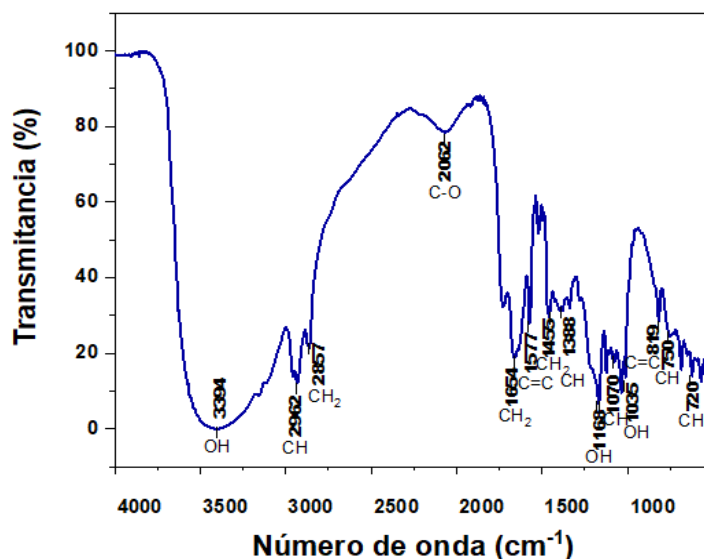


Figura 5.12. Espectroscopia infrarroja del rábano rojo (*Raphanus sativus*).

Tabla 5.3. Resumen de las señales en el espectro infrarrojo del extracto de rábano rojo.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Intensidad	Asignación
3394	Alta	Estiramiento OH
2927	Débil	Flexión CH
2857	Débil	Flexión CH <sub>2</sub>
2062	Baja	Estiramiento C-O
1654	Baja	Flexión CH <sub>2</sub>
1577	Débil	Estiramiento C=C
1388	Baja	Flexión CH, H-C-H
1168	Baja	Flexión OH, Estiramiento C-O
1070	Baja	Flexión OH, Estiramiento C-O



## 5.4. Caracterización del suelo

### 5.4.1. Límites de consistencia

En la Tabla 5.4 se muestra los valores obtenidos de límite líquido y plástico, los cuales se realizaron por triplicado, en el caso del índice de plasticidad se aplicó la ecuación 11, donde se obtuvo un valor de 9.80 % como se observa en la Tabla 5.5, además, se tiene una contracción lineal de un 7% mismo que se tabuló en la Tabla 5.6.

Con base en los resultados obtenidos de los límites de Atterberg, se clasificó el tipo de suelo que se utilizó para la elaboración de los BTC, los cuales se basan en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), como se muestra en la Tabla 5.7, identificándolo como un suelo CL, que contiene, arcillas inorgánicas de una plasticidad baja a media, con grava, limosas y arenosas, por lo que se considera un suelo adecuado para elaborar BTC, lo cual indica que cuenta con las características necesarias para ser utilizados y se obtiene un buen desempeño mecánico.

Tabla 5.4. Resultados del límite líquido y plástico.

<b>Límites de Atterberg</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Límite líquido %</b>	<b>Media</b>
<b>1</b>	23.0	
<b>2</b>	23.1	23
<b>3</b>	22.9	
<b>Límite plástico %</b>		
<b>1</b>	13.4	
<b>2</b>	13.2	13.2
<b>3</b>	13.0	

Tabla 5.5. Índice de plasticidad.

<b>Límite líquido %</b>	<b>Límite plástico %</b>	<b>Índice de plasticidad %</b>
23	13.20	9.80

Tabla 5.6. Contracción lineal.

<b>Contracción lineal</b>	
Molde No.	27
Lectura inicial cm	9.9
Lectura final cm	9.2
% contracción lineal	7

Tabla 5.7. Clasificación del suelo a utilizar.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
CL (Arena arcillosa)

## 5.5. Pruebas de resistencia mecánica

### 5.5.1. Resistencia a la compresión

En la Figura 5.13 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión realizados sobre cada bloque de tierra comprimida (BTC), los cuales se analizaron por triplicado aplicando una fuerza en vertical, mismos que fueron utilizados a los 28 días de curado, obteniendo resultados estadísticos con los errores estándar. Se puede apreciar que los bloques que están estabilizados con cal presentaron mayor resistencia mecánica que los bloques sin estabilizar; así mismo, los especímenes que solo contenían el extracto de mucílago resultaron tener una tendencia creciente en la resistencia, donde se observó que a mayor porcentaje de extracto (TM<sub>5</sub>, TM<sub>10</sub>, TM<sub>15</sub>, TCM<sub>5</sub>, TCM<sub>10</sub> y TCM<sub>15</sub>), en comparación de los bloques que contienen ambos extractos (2.5, 5 y 7.5% de mucílago y un mismo porcentaje para el rábano), los gráficos se muestran en el Anexo 1A, en donde se observa un incremento al aumentar el contenido de extractos y también al ser incorporada la cal, por lo cual se corroboró que la presencia del estabilizante favorece la resistencia mecánica de la compresión, como lo reportan, Y. Aranda *et al.* [58], debido a que presenta un comportamiento óptimo en los BTC.

En la Figura 5.14a se visualiza un bloque sometido a resistencia a la compresión antes de iniciar la prueba y en la Figura 5.14b al finalizar la prueba. Se observó como el bloque llega a fracturarse o llega a su punto de ruptura, lo cual ocasionó un desprendimiento en algunas caras del espécimen y el centro mantiene su compactación.

Según la especificación de la norma NMX-C-508-ONNCCE-2015 [96], las mezclas que no cumplen con los parámetros de resistencia a la compresión son el blanco de sólo tierra (blanco T) y TMR<sub>5</sub>, debido a que la compresión mínima debe de ser 3 MPa.

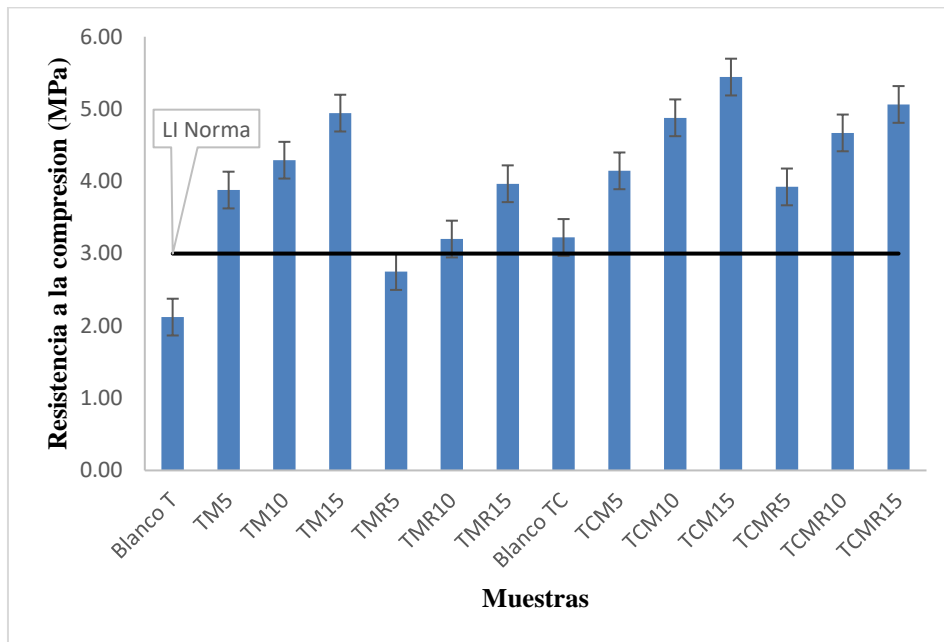


Figura 5.13. Gráfico de intervalos de resistencia a compresión promedio resultante en las muestras de BTC con distintas proporciones de extractos.

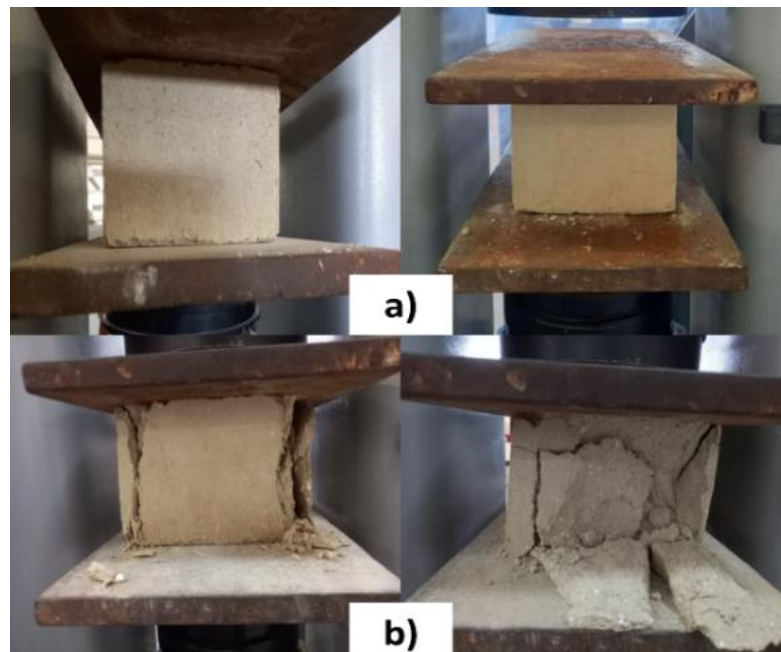


Figura 5.14. Comportamiento del espécimen en la resistencia a compresión, a) antes de iniciar y b) después de la prueba.

Ampliando el análisis de resistencia mecánica, se propone una vivienda con muros de BTC y una cubierta de lámina, en la cual se realizó una bajada de cargas como se puede observar en la Tabla 5.8, que sirvió para determinar el valor de carga en un ambiente simulado. Con estos

valores se contrastaron los bloques que cumplen con las condiciones mecánicas para la construcción de una vivienda con dimensiones de 4 x 3 m, donde en el muro 1 se tendrán dos ventanas de 1 x 1 m, en el muro 3 y 4 una ventana de 1 x 1 m y en el 2 se añadió una puerta de 2.10 x 1 m com se muestra en la Figura 5.15.

Tabla 5.8. Bajada de cargas de una propuesta de vivienda.

<b>Muro</b>	<b>BTC (pz)</b>	<b>Masa total (kg)</b>	<b>Peso total (kN)</b>	<b>Peso total de BTC (kN)</b>	<b>Peso de la cubierta (kN)</b>	<b>Carga total (kN)</b>
<b>1</b>	296.30	7.893	22958.69	22.96	1.06	<b>24.02</b>
<b>2</b>	200.00	7.893	15497.12	15.50	0.64	<b>16.13</b>
<b>3</b>	333.33	7.893	25828.53	25.83	1.06	<b>26.89</b>
<b>4</b>	240.74	7.893	18653.94	18.65	0.64	<b>19.29</b>



Figura 5.15. Prototipo de vivienda sustentable con BTC y cubierta de lámina.

Los BTC estudiados mostraron una carga promedio de ruptura mínima de 78.82 kN para la mezcla TMR<sub>5</sub> y una máxima de 199.89 kN para la mezcla TCM<sub>15</sub>, con lo cual se estima que todos los BTC producidos son aplicables para la vivienda modelo, menos el Blanco T y TMR<sub>5</sub> y que, si está es modificada con otro tipo de estructuras o losa de concreto, los BTC podrían seguir siendo aptos para las construcciones.

### 5.5.2. Resistencia a la abrasión

En esta prueba se determinó para los BTC en seco, con la cual se calculó el coeficiente abrasión a través de la ecuación 4, que relaciona el área sometida a la abrasión entre el peso del bloque antes y después de generar un desgaste con un cepillo de metal. En la Figura 5.16 se visualiza el proceso de abrasión que se realizó sobre las probetas.



Figura 5.16. Proceso de prueba de abrasión, donde se determinó el coeficiente de resistencia a la abrasión de los BTC.

En este análisis resultó que el espécimen TM<sub>15</sub>, el cual contiene el 15% de mucílago de nopal, fue el bloque con mayor resistencia a la abrasión como se muestra en la Figura 5.17, por tanto, se tiene que a mayor concentración del extracto de nopal se obtiene una mayor resistencia a la abrasión. Cabe mencionar que, aunque en las mezclas TCMR<sub>10</sub> y TCMR<sub>15</sub> contengan un porcentaje alto de extracto de nopal, se tienen un menor coeficiente que en los bloques TM<sub>10</sub> y TM<sub>15</sub>, esto es debido a que el porcentaje del mucílago se reduce a la mitad, porque se agrega el extracto de rábano rojo para mantener la relación en peso de los orgánicos, lo cual hace que la resistencia disminuya. Finalmente, los especímenes que obtuvieron bajos resultados fueron los blancos T y TC, aunque se tiene una buena cohesión, resultaron tener menor resistencia, en

comparación a los que contienen extracto de nopal. Por tanto, el extracto de nopal funciona como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas y esto confirma los resultados observados en otros trabajos [3, 26]. En la Tabla 5.9 se presentan resumidos los resultados obtenidos del coeficiente de resistencia a la abrasión de los BTC.

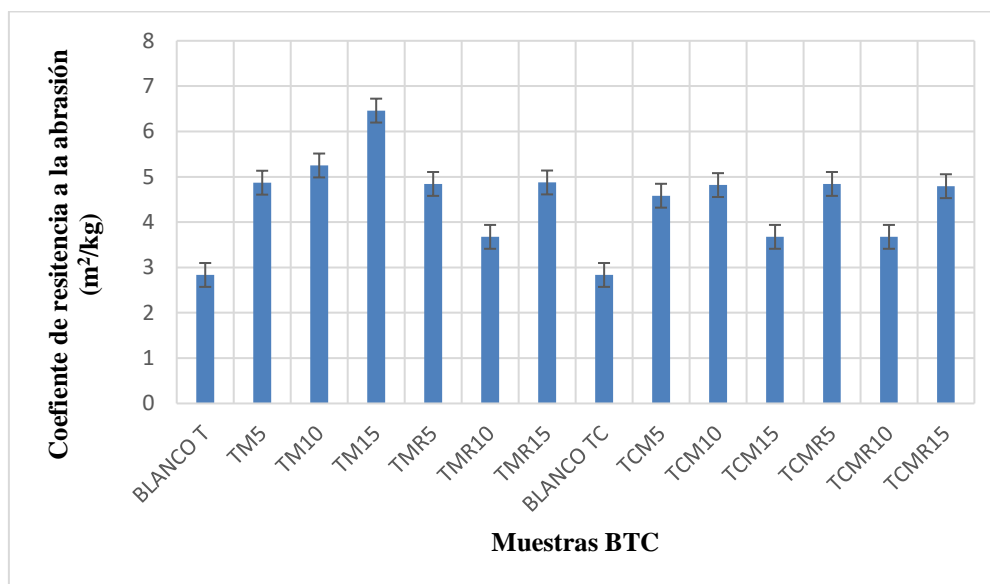


Figura 5.17. Coeficiente de abrasión de los BTC con extractos de mucílago y rábano.

Tabla 5.9. Resultados de prueba a la abrasión.

ID	Coeficiente de abrasión Ca (m²/kg)
<b>BLANCO T</b>	2.83 ± 0.44
<b>TM<sub>5</sub></b>	4.87 ± 1.05
<b>TM<sub>10</sub></b>	5.25 ± 0.52
<b>TM<sub>15</sub></b>	6.46 ± 1.31
<b>TMR<sub>5</sub></b>	4.84 ± 1.30
<b>TMR<sub>10</sub></b>	3.67 ± 0.16
<b>TMR<sub>15</sub></b>	4.87 ± 1.32
<b>BLANCO TC</b>	2.83 ± 0.31
<b>TCM<sub>5</sub></b>	4.58 ± 1.58
<b>TCM<sub>10</sub></b>	4.81 ± 1.29
<b>TCM<sub>15</sub></b>	3.67 ± 0.52
<b>TCMR<sub>5</sub></b>	4.84 ± 1.30
<b>TCMR<sub>10</sub></b>	3.67 ± 0.52
<b>TCMR<sub>15</sub></b>	4.79 ± 1.29

## 5.6. Pruebas físicas

### 5.6.1. Absorción de agua

Para la reproducibilidad de esta prueba las muestras se cortaron en mitades y se secaron en un horno a 110 °C por 24 h, hasta obtener peso constante (Figura 5.18). Posteriormente, las muestras se colocaron en un recipiente de plástico con agua desionizada, como se muestra en la Figura 5.19a la inmersión de los bloques; en la Figura 5.19b tiende a deshacerse uno de los bloques expuestos al agua en comparación de otros que mantuvieron su formación casi intacta y en la Figura 5.19c-d, se observa como finalizaron algunos bloques que se mantuvieron sumergidos durante 24 horas. Posteriormente, se determinó la cantidad de agua absorbida por las muestras. Antes de iniciar, se pesó cada uno de los bloques, obteniendo su peso en seco y en húmedo para determinar el porcentaje de absorción con la ecuación 4.



Figura 5.18. Proceso preliminar a la prueba de absorción de agua.



Figura 5.19. Proceso de prueba de absorción de agua durante 24 horas.

En la Tabla 5.10 se presentan los resultados promedios de absorción de agua en los BTC, donde se observa que el mortero TCMR<sub>15</sub> presenta el porcentaje más alto, con un 12.89% en comparación de la TCM<sub>5</sub> que obtuvo un 6.28% de humedad; en algunos especímenes no se obtuvo un porcentaje debido a que los BTC no resistieron las condiciones de humedad extrema, estos fueron los bloques que no estaban estabilizados, excepto el TMR<sub>15</sub>, el cual presentó 6.55% de humedad, único en el lote de los especímenes sin cal. Se determinó que el mortero que contienen el estabilizante (cal) resultaron con una mayor cohesión a diferencia de los que contenían tierra y el uso de los extractos en esta propiedad no tiene repercusión. Sin embargo, esto también es indicativo de la funcionalidad que tienen las mezclas para poder usarse como recubrimiento exterior o interior, siendo además posible el uso de fibras naturales como la fibra de coco o de ixtle para reforzar la estructura interna de los BTC. Estos bloques también presentaron buenas propiedades en resistencia a la compresión, por lo cual, los resultados obtenidos en esta prueba confirman la consolidación del material.



Tabla 5.10. Resultados promedios del porcentaje de absorción de agua.

BTC	%H
<b>BLANCO T</b>	ND
<b>TM5</b>	ND
<b>TM10</b>	ND
<b>TM15</b>	ND
<b>TMR5</b>	ND
<b>TMR10</b>	ND
<b>TMR15</b>	6.55
<b>BLANCO TC</b>	ND
<b>TCM5</b>	6.28
<b>TCM10</b>	6.29
<b>TCM15</b>	6.45
<b>TCMR5</b>	7.68
<b>TCMR10</b>	12.64
<b>TCMR15</b>	12.89

ND= no determinado.

### 5.6.2. Porosidad relativa

En esta prueba se calculó el porcentaje de porosidad relativa a partir de los resultados de la prueba de absorción, aplicando la ecuación 5. Como se puede observar en la Figura 5.20, se tienen diferencias significativas con las mezclas sin estabilizar, las cuales no se pudieron determinar, debido a las condiciones extremas a las que estuvieron sujetos los bloques, resultando en el colapso de su estructura, excepto el espécimen TRM<sub>15</sub>, el cual presentó un porcentaje de porosidad relativa de 6.55. Los BTC que estaban estabilizados con extracto de mucílago y rábano, fueron los que soportaron las condiciones extremas a las que se sometieron, por lo cual, se determinó que poseen una porosidad adecuada y esto se debe a la presencia del estabilizante y el extracto de nopal, mismo que permitió obtener una mayor estabilidad, mientras que los blancos T y TC los cuales no contenían extractos orgánicos colapsaron. Debido a esto no se determinó dicho porcentaje de porosidad relativa de estos especímenes. En consecuencia, los bloques con ambos extractos y estabilizados no comprometen la estructura ni las propiedades mecánicas del bloque.

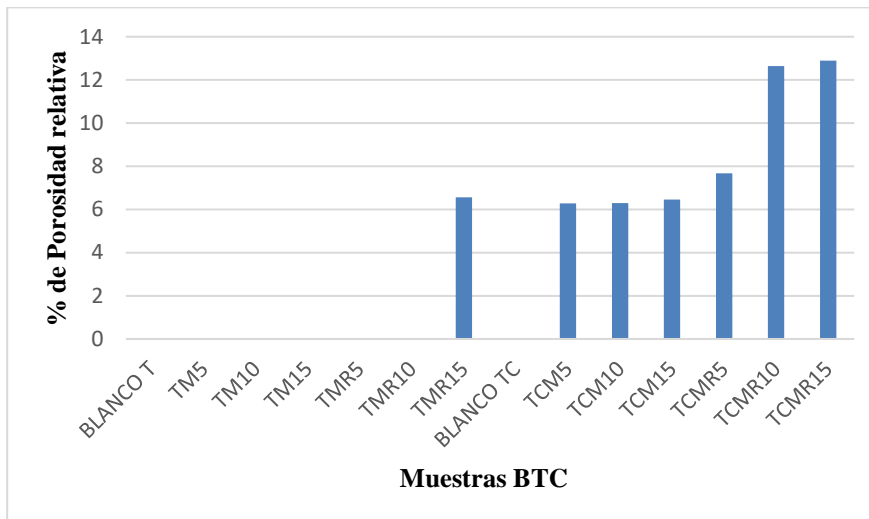


Figura 5.20. Porcentaje de porosidad relativa de los bloques de tierra comprimida.

## 5.7. Pruebas antimicrobianas

Se analizó la actividad antimicrobiana de los especímenes, aplicando el método de cultivo de vertido en placa, usando como medio de cultivo: agar dextrosa-papa (hongos).

### 5.7.1. Aislamiento de cepas

Se obtuvo un aislamiento de la *Candida albicans* en un tubo germinativo como se puede observar en la Figura 5.21, la cepa identificada fue utilizada para la sensibilidad microbiana en los bloques y así poder observar su comportamiento frente a las muestras de mortero con diferente concentración de extractos de mucilago y rábano, para poder determinar que mezclas ayudan a la propiedad antimicrobiana.



Figura 5.21. Imagen de *Candida albicans* utilizada para la prueba de hongos y levaduras.

### 5.7.2. Prueba contra hongos y levaduras

El efecto antimicrobiano contra hongos mostró poca actividad microbiana en el bloque TCMR<sub>15</sub> como se puede apreciar en la Figura 5.22 donde en a) la caja Petri contiene tres especímenes (método antibiograma), en el cual se colocaron en forma triangular y en b) la imagen microscópica de la superficie de la muestra, en la cual no se observa hongo en el mortero. Cabe destacar que con la adición del extracto de rábano a un 7.5%, mucílago de nopal al 7.5% y estabilizado con cal, mismos que obtuvo una menor actividad microbiana, lo cual era lo que se esperaba; para minimizar el ataque microbiano con la adición del extracto de rábano, a diferencia del blanco las muestras que solamente contenían mucílago de nopal, presentaron mayor actividad microbiana; Como se muestra en la comparación de los morteros con y sin estabilizar de las Figuras 5.23 al 5.26 que a mayor extracto de rábano y estabilizado con cal, influye en las propiedades antimicrobiana del mortero.

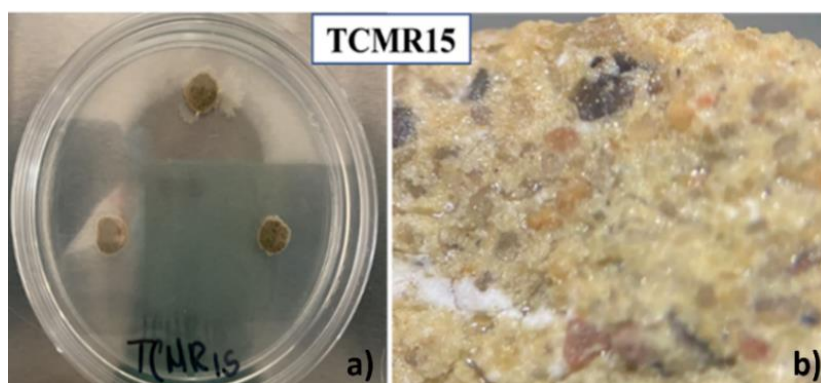


Figura 5.22. Imagen macroscópica de la superficie del mortero de TCMR<sub>15</sub>.

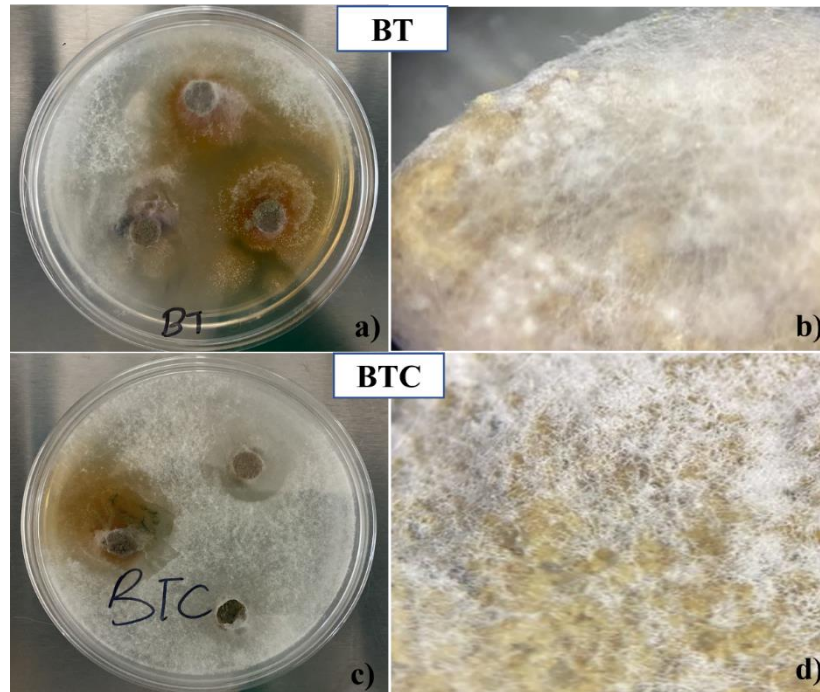


Figura 5.23. Prueba de hongos con blancos, en el (a) el mortero de referencia con tierra y sin estabilizar, en (b) imagen microscópica de la superficie, (c) muestra de referencias con tierra, estabilizado con cal y (d) el recubrimiento del mortero por el hongo.

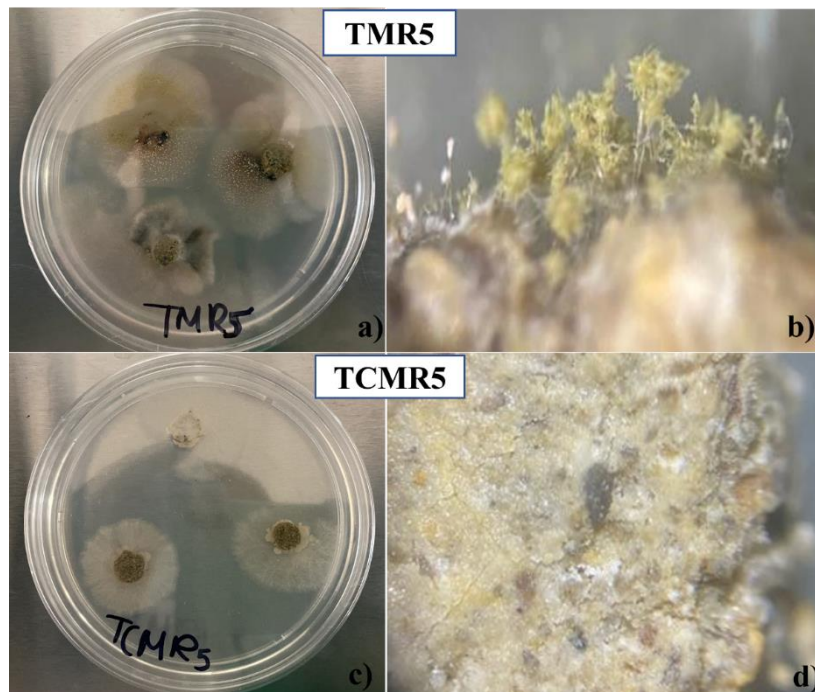


Figura 5.24. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 5%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie.

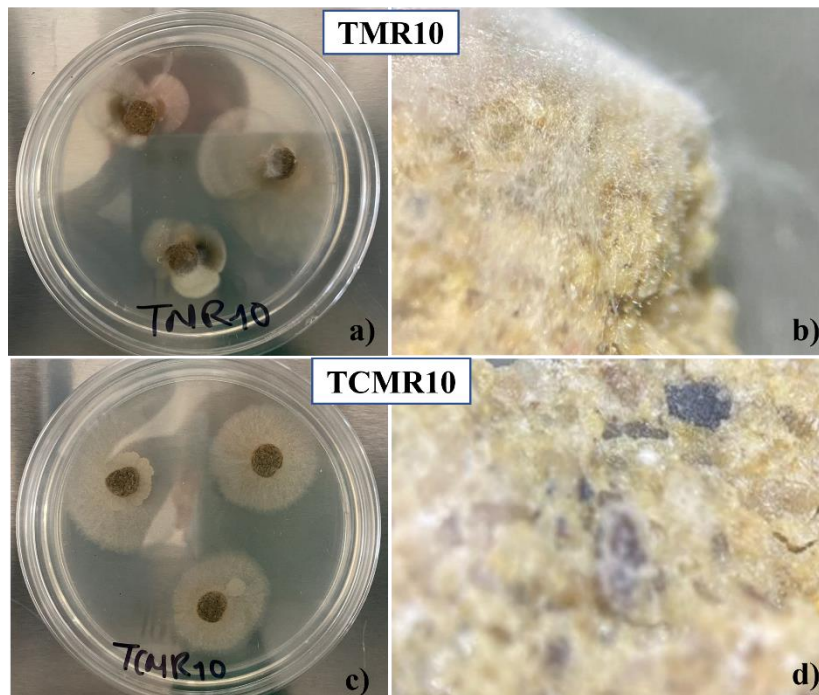


Figura 5.25. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 10%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie.

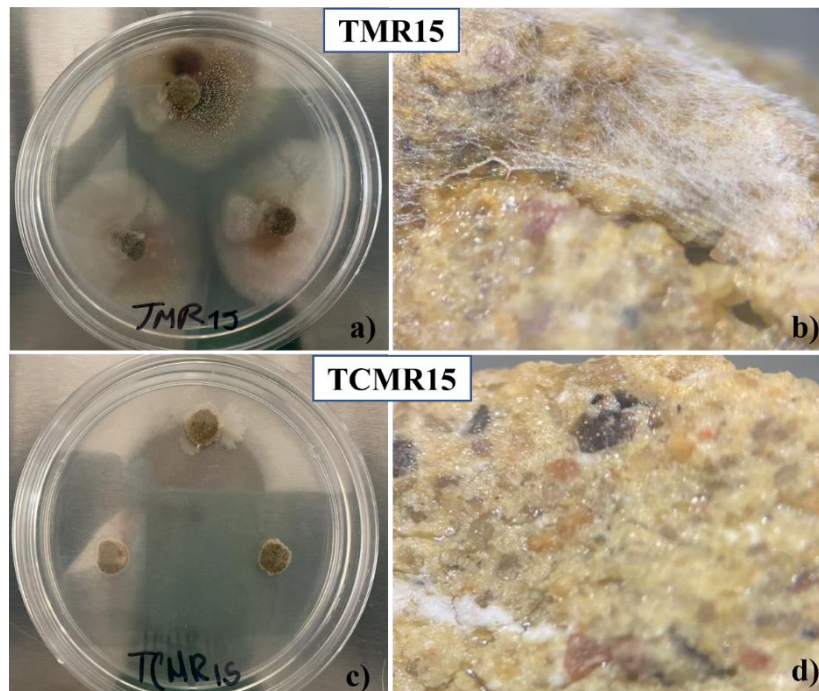


Figura 5.26. Prueba de hongos de muestras con extracto de mucílago y rábano al 15%, (a) mortero sin estabilizar, (b) se presenta el moho verde alrededor, (c) se tiene las muestras estabilizadas y (d) imagen microscópica de la superficie.

Después de la incubación, se observó microscópicamente el hongo que se desarrolló en algunos de los morteros, como se puede ver en la Figura 5.27, en la cual se determinó la presencia de la cepa *Alternaria alternata*, la que es muy común en el ambiente y se caracteriza por ser un alérgeno que puede causar enfermedades como infecciones en el tracto respiratorio superior, además de asma. Por último, la muestra TCMR<sub>15</sub> es la que presenta menor actividad microbiana en el mortero, por tanto, se tiene que la presencia del extracto de rábano es efectiva como tratamiento preventivo contra los hongos.

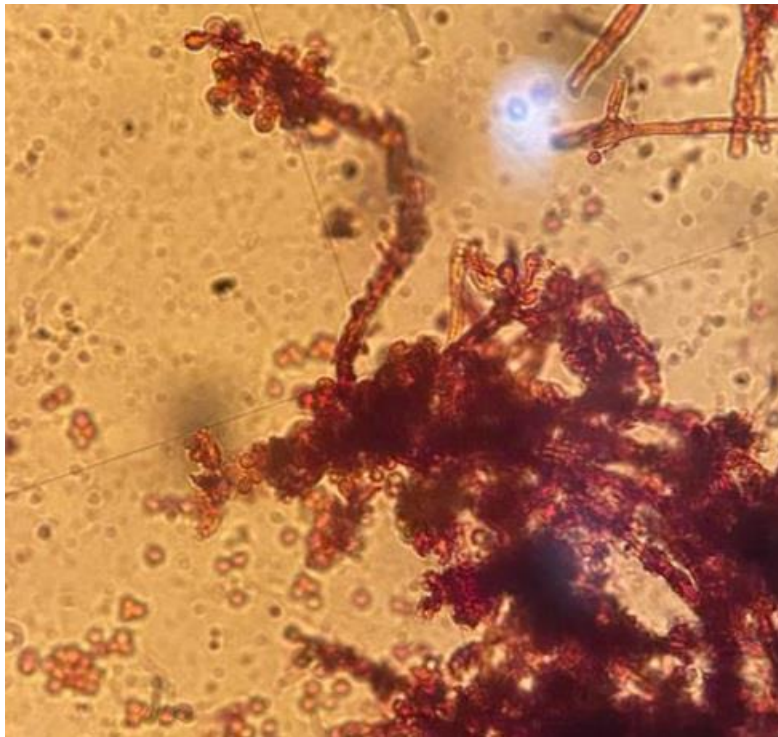


Figura 5.27. Micrografía del cultivo *alternaria* con tinción (aumento 40X).

## 5.8. Pruebas de interacción de iones en medio acuoso a través del mortero de tierra

### 5.8.1. Cloruros

Para la determinación de remoción de cloruros se aplicó el método de Mohr, cuyos resultados mostraron que las probetas que solamente contienen mucílago de nopal presentan cierta interacción positiva con los iones cloruro, sin embargo, esta interacción no se mantiene estable, como se puede observar en la Figura 5.28. Las variaciones son mucho más marcadas en las probetas que tienen extracto de rábano, lo cual es un indicativo de que estabiliza la interacción y permite que el material retenga de manera adecuada estos iones y que estos no se filtren hacia

el interior de la probeta sino, que se pueden mantener en la superficie o en el elemento de tierra, esto permitirá combinar materiales como el acero, para brindar un método de prevención de la corrosión.

En este análisis, los núcleos con menor concentración de extractos que se analizaron fueron expuestos al medio acuoso rico en iones, las cuales no soportaron las condiciones extremas, se presentó el colapso en  $\pm 1$  minuto. Cabe mencionar que las probetas que contenían los dos extractos se mantuvieron sólidas, esto se presentó en las muestras que contenían mayor concentración de mucílado de nopal y extracto de rábano, como se puede observar en la Figura 5.29, los cuales llegaron a un valor del 100% de absorción de iones en el bloque como TMR<sub>15</sub> y TCMR<sub>15</sub>.

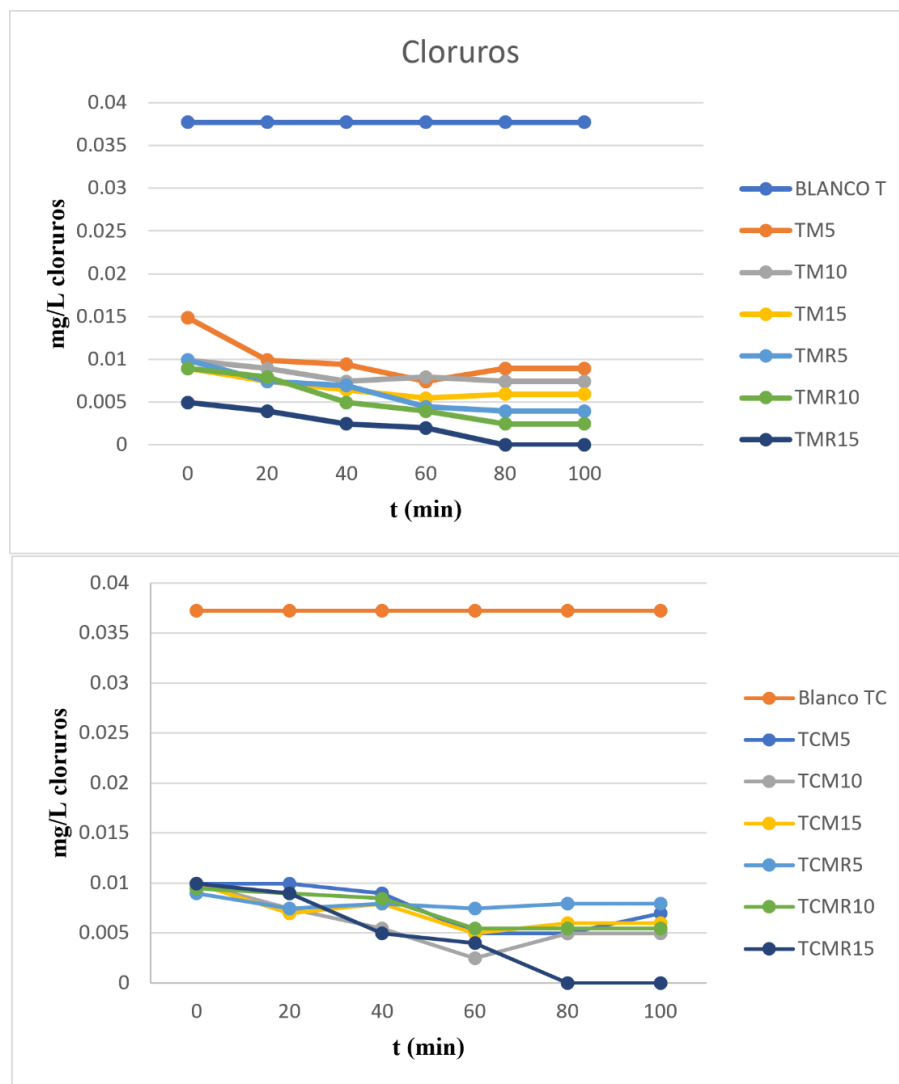


Figura 5.28. Determinación de cloruros por el método de Mohr.



Figura 5.29. Estado físico de los núcleos de tierra después de las pruebas de remoción de cloruros.

### 5.8.2. Carbonatos

En la determinación de carbonatos se aplicó la norma NMX-AA-036-SCFI-2001 “Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba” [83]. En la Figura 5.30 se observa la inmersión de las muestras para las cuales se tomaron 5 alícuotas de 5 mL cada 20 minutos por triplicado, en un vaso Erlenmeyer y se le añadió 30 mL de agua destilada, como se muestra en la Figura 5.31a. Posteriormente, se agregaron gotas del indicador y se confirmó la presencia de carbonatos con el vire de incoloro a rosa, como se observa la Figura 5.31b, finalmente, se llevó a titulación con la disolución del ácido clorhídrico hasta el vire de la fenolftaleína de rosa a incoloro (Figura 5.31c), registrando los mililitros gastados para determinar los carbonatos presentes en el agua por medio de la ecuación 8.

En las muestras que no están estabilizadas y que contienen mucílago de nopal se presenta una interacción positiva con los carbonatos, pero no se mantiene estable, en comparación de las mezclas que contiene ambos extractos que interactúan de manera positiva, como cuando se adiciona el extracto de rábano rojo a mayor concentración como el espécimen TMR<sub>15</sub> y TCMR<sub>15</sub>; por lo cual se determina que la presencia de antocianinas influye en la interacción con el ion carbonato como se puede observar en la Figura 5.32. Así mismo, se genera una misma tendencia en los que contienen el estabilizante, por lo cual, la cal no influye en la interacción de los iones.





Figura 5.30. Inicio del análisis de interacción de carbonatos en las muestras.

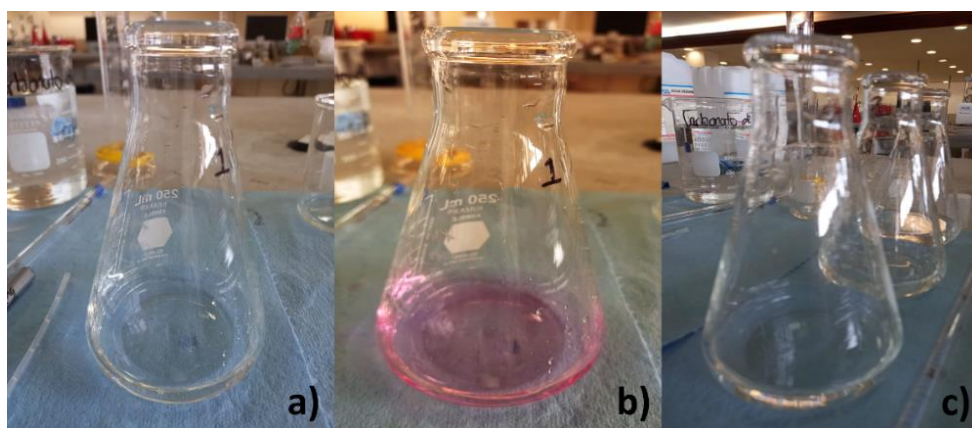


Figura 5.31. Valoración de carbonatos, a) iniciando con la muestra, b) alícuota con indicador y c) titulación con ácido clorhídrico 0.02 N.

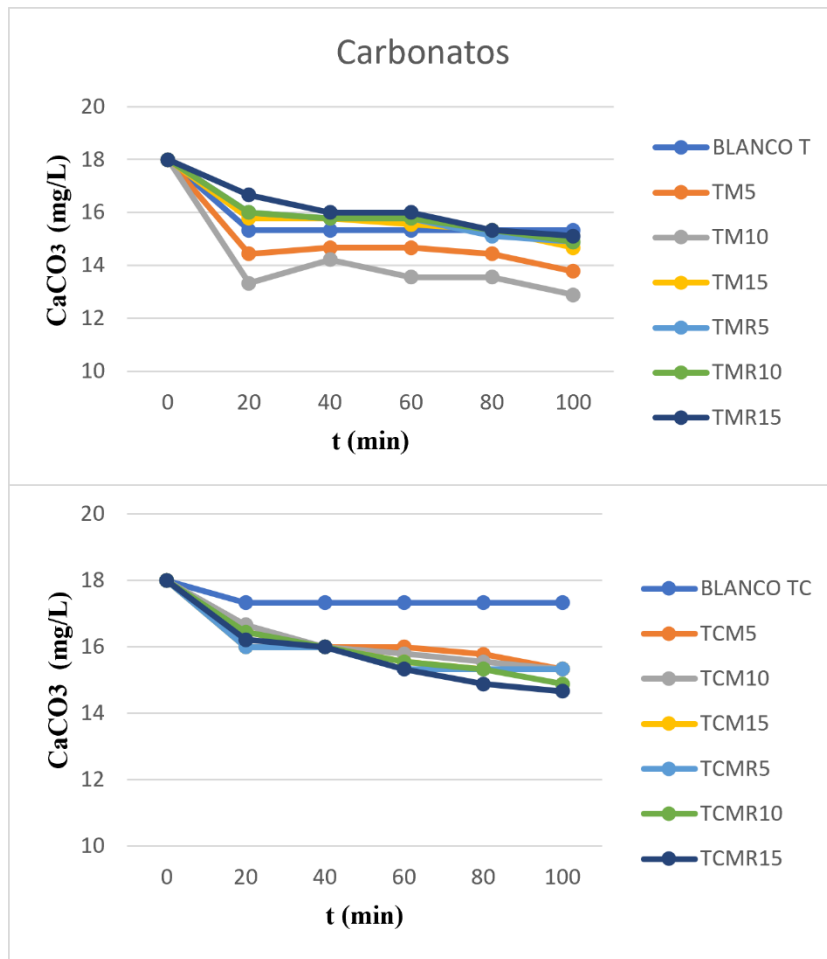


Figura 5.32. Determinación de carbonatos bajo la norma NMX-AA-036-SCFI-2001 [83].

### 5.8.3. Sulfatos

Se realizó una curva de calibración con cinco niveles de concentración y un blanco, en el intervalo de concentración de 40-200 mg/L que fue utilizada para la cuantificación de sulfatos, con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0.997 (Figura 5.33). Para las mezclas se obtuvieron valores en el intervalo de 131.66 a 106.70 mg/L como se observa en la Figura 5.34, con una tendencia decreciente de concentración de sulfatos en los especímenes TCMR<sub>15</sub> y TMR<sub>15</sub>, en comparación con los que contienen sólo el extracto de nopal, los cuales presentan una interacción reducida. Entonces, cabe destacar que el extracto de rábano a mayor porcentaje permite la interacción de iones en el medio, en cambio, con el mucílago de nopal se logra una interacción menor e inestable.

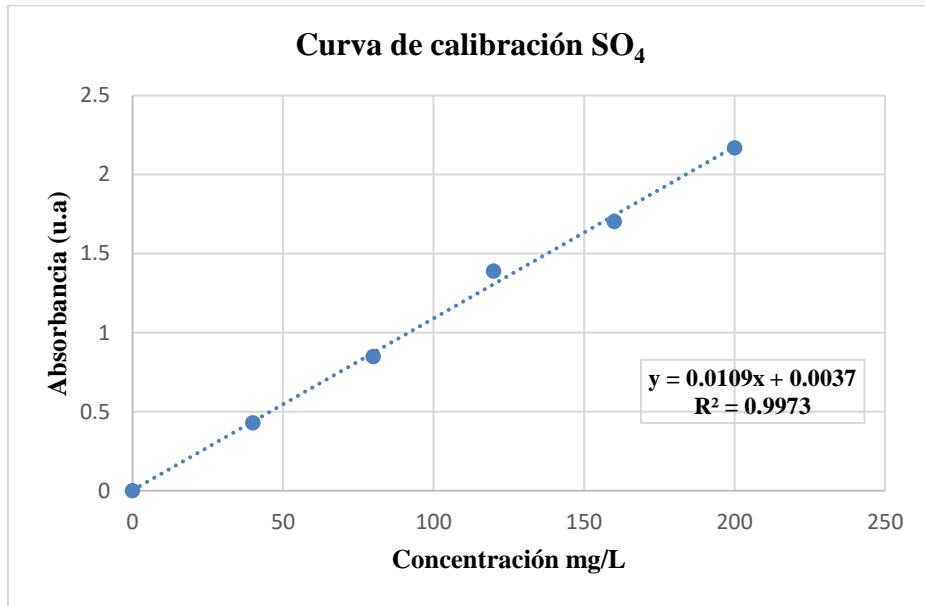


Figura 5.33. Curva de calibración del sulfato.

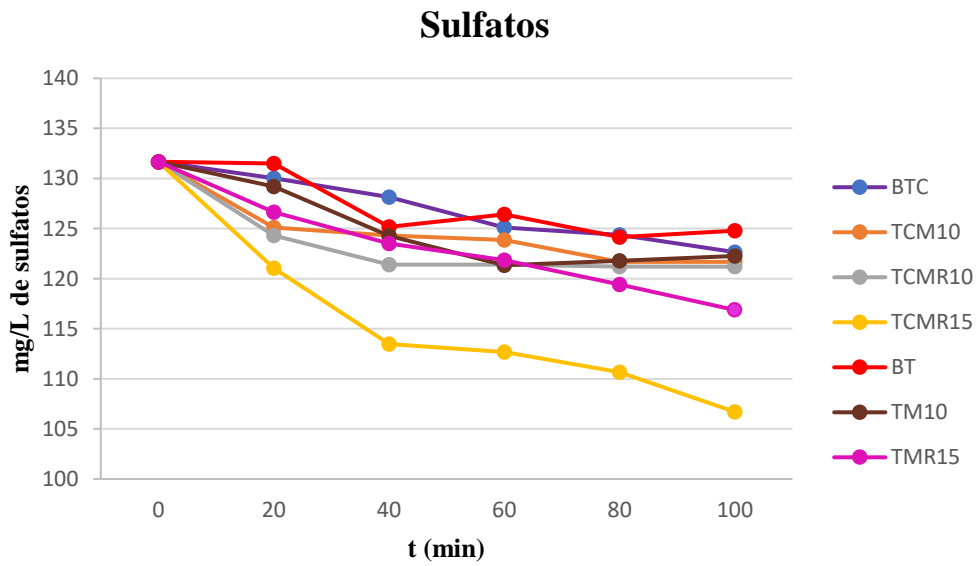


Figura 5.34. Determinación de sulfatos bajo la norma NMX-AA-074-SCFI-2014 [84].

## Conclusiones

En este trabajo, se desarrollaron formulaciones de mezcla de mortero de tierra con suelos limoso y arcilloso, adicionando extracto de mucílago de nopal y rábano rojo, estabilizándolas con cal. Las mezclas fueron probadas en distintos parámetros que se pueden clasificar en pruebas mecánicas, pruebas físicas y pruebas de aplicación. Adicionalmente, los extractos fueron obtenidos y caracterizados para determinar la presencia de los compuestos que permiten la funcionalización de los materiales.

La caracterización por UV-vis de los extractos permitió observar bandas de absorción características de la presencia de fenoles en el mucílago de nopal. Las antocianinas en el extracto de rábano presentan bandas de absorción de 500 a 545 nm, y variando conforme al pH del medio, el cual permite detectar el tipo de antocianina presente en la muestra. En el análisis de RMN se pudieron observar las señales características relacionadas al mucílago de nopal y el extracto de rábano rojo, es decir los grupos fenólicos y las antocianinas, respectivamente. El análisis de los extractos por FTIR mostró resultados significativos en cuanto al estudio del contenido de los componentes en los extractos de mucílago y rábano, determinando de manera general los grupos funcionales de los mismos.

Para el caso de los suelos, estos también fueron caracterizados para determinar su calidad con respecto a la plasticidad, dado que esta es una propiedad que dicta el uso de suelos para elementos constructivos. Los límites de Atterberg permitieron determinar que el tipo de suelo que se utilizó es una arena arcillosa, el cual es apto para la elaboración de elementos constructivos con un índice de plasticidad promedio de 9.8%.

Para las pruebas mecánicas, se produjeron bloques de tierra comprimida (BTC). En las pruebas de resistencia mecánica, se obtuvo que los bloques con mayor porcentaje de extracto de mucílago de nopal presentan buena resistencia a la compresión y al ser adicionado el estabilizante presenta aún más resistencia, también, se presenta el mismo comportamiento con la resistencia a la abrasión, lo cual refiere a que estas combinaciones tienen una mayor resistencia al desgaste y por lo tanto una vida útil mayor, en comparación con las otras mezclas. En resumen, estas combinaciones son las que se perfilan como las ideales para su aplicación en el ámbito de la construcción e implementarlos en muros de carga.

La prueba de absorción de agua demostró que los bloques que estaban estabilizados y que contenían mucílago de nopal fueron los que soportaron las condiciones extremas de humedad

y son los mismos que presentaron mayor porcentaje de porosidad relativa.

Las pruebas de aplicación se centraron en la medición de la inhibición de la actividad microbiana (hongos) y la interacción con iones cloruro, carbonatos y sulfatos. En la prueba de hongos, las muestras que contenían mucílago y rábano con el estabilizante presentaron una menor actividad microbiana en comparación con las que estaban sin estabilizar, las cuales presentaron la mayor infestación de hongos y levaduras, cabe mencionar que la muestra control se infesto por hongos, por tanto, se descarta que el uso de cal potencializa la inhibición de hongos, pero ayuda con la estabilización del mortero, es por esta razón que se determinó que el rábano es efectivo como tratamiento preventivo contra los hongos y esta mezcla puede ser utilizada para los revestimientos de las viviendas.

En el análisis de iones, se determina que, para cloruros, carbonatos y sulfatos, el extracto de rábano a mayor porcentaje potencializa la interacción entre el material y el medio acuoso rico en iones, manteniendo una estabilidad conforme pasa el tiempo.

En conjunto de todas las muestras, la mejor mezcla de mortero en cuanto a las resistencias fueron las que contenían mayor porcentaje de mucílago ( $TM_{15}$  y  $TCM_{15}$ ), el cual puede ser apto para la construcción de muros, finalmente la mezcla que contenía mayor porcentaje de extracto de rábano y estaba estabilizada con cal ( $TCMR_{15}$ ), proporciono menor actividad microbiana y mayor interacción con los iones cloruro, carbonatos y sulfatos, por lo tanto, puede aplicarse como recubrimiento interior y exterior en las viviendas construidas a base de tierra.

## Referencias

- [1] R. A. Berenguer, P. Helene, F. A. N. Silva, S. M. Torres, E. C. B. Monteiro, and A. A. de M. Neto, “On the influence of sugarcane bagasse ashes as a partial replacement of cement in compressive strength of mortars”, *Rev.alconpat*, vol. 8, no. 1, pp. 30–37, 2018.
- [2] T. Serrano, M. V. Borrachero, J. M. Monzó, and J. Payà, “Lightweight mortars with rice husk: Mix design and properties evaluation”, *Dyna*, vol. 79, no. 175, pp. 128–136, 2012.
- [3] E. F. Hernández, P. F. J. De Cano-Barrita, and A. A. Torres-Acosta, “Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete”, *Mater. Constr.*, vol. 66, no. 321, p. 2, 2016.
- [4] Y. Díaz, C. Menchaca, C. I. Rocabrano, and J. Uruchurtu, “Influencia de un aditivo natural (mucílago de nopal) en las propiedades electroquímicas del acero de refuerzo del concreto”. *Revista ALCONPAT*, vol. 3, pp. 260–272, 2019.
- [5] J. B. Hernández-Zaragoza, A. Coronado-Márquez, T. López-Lara, and J. Horta-Rangel, “Mejoramiento de morteros a través de nopal”, *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, vol. 10, p. 126, 2008.
- [6] S. Szabó, Z. Németh, E. Polyák, I. Bátai, M. Kerényi, and M. Figler, “Antibacterial effect of sprouts against human pathogens in vitro”, *Acta Aliment.*, vol. 43, no. 3, pp. 501–506, 2014.
- [7] W. Jiang and X. Zhou, “Hydrolysis of radish anthocyanins to enhance the antioxidant and antiproliferative capacities”, *Food Chem.*, vol. 294, no. 20, pp. 477–480, 2019.
- [8] R. Rotondaro, “Arquitectura de tierra contemporánea : tendencias y desafíos”, *APUNTES*, vol. 20, no. 0, p. 342, 2007.
- [9] S. . Bestraten, E. Hormias, and A. Altemir, “Construcción con tierra en el siglo XXI”, *Inf. la construcción*, vol. 63, no. 0, pp. 5–20, 2011.
- [10] M. Ramírez Rodríguez, J. Aguiluz León, and R. Gutiérrez Martínez, “Prototipo de vivienda de adobe con energías renovables: caso de estudio”, *Cienc. ergo-sum*, vol. 20, no. 3, pp. 231–237, 2013.
- [11] J. Fernandes, M. Peixoto, R. Mateus, and H. Gervásio, “Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks”, *J. Clean. Prod.*, vol. 241, p. 118286, 2019.
- [12] R. Gutierrez, R. Salvador, and D. P. Gallegos Sanchez, “Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos”, *Rev. la Fac. Arquit. la Univ. Auton. Nuevo*

*Leon*, vol. 9, no. 0, p. 70, 2015.

- [13] G. Porras, M. Mena, and C. García, “Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. Estudio de caso”, *Tecnura*, vol. 20, no. 48, pp. 115–120, 2016.
- [14] L. Y. Gómez and C. E. Castillo, “Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de partículas de nanosílice”, *Revista ALCONPAT*, pp. 101–110, 2016.
- [15] M. P. León and F. Ramírez, “Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes Morphological characterization of concrete aggregates by means of image analysis”, *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 25, pp. 215–235, 2010.
- [16] D. oficial de la Federacion, “Industria de la construcción - aditivos para concreto - terminología y clasificación en concreto hidráulico y mortero, NMX-C-199-ONNCCE-2010”, 2010.
- [17] Ó. Gracia, G. Quesada, A. Gómez, and A. Santacruz, “Estudio de la tecnología de concretos de contracción compensada aplicada a la construcción de pisos industriales”, *Obras y proyectos*, pp. 46–56, 2013.
- [18] J. Ávila, H. Eguez, and O. Roa, “Compression Behavior of Mortar Reinforced with Graphene Oxide and Costs Inherent to the Production Process of the Mixture”, *Investigatio*, vol. 12, pp. 49–66, 2019.
- [19] A. Enshassi, B. Kochendoerfer, and E. Rizq, “An evaluation of environmental impacts of construction projects Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción”, *Revista Ingeniería de la Construcción*, vol. 29, pp. 234–254, 2014.
- [20] S. B. Vera-barrios and T. M. Ledezma-elizondo, “Improved cement paste adding Zeolite and Iron powder waste into joining mortars”, *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 19, no. número 2, pp. 223–232, 2018.
- [21] E. L. Congreso, G. D. E. L. O. S. Estados, U. Mexicanos, and Reforman, “Industria de la construcción-bloques de tierra comprimida estabilizados con cal-especificaciones y métodos de ensayo. NMX-C-508-ONNCCE-2015”, vol. 5002338. pp. 1–14, 2007.
- [22] T. Ashour, A. Korjenic, and S. Korjenic, “Equilibrium moisture content of earth bricks biocomposites stabilized with cement and gypsum”, *Cem. Concr. Compos.*, vol. 59, pp. 18–25, 2015.
- [23] R. Betancourt, F. Cortés, J. Rentería, and A. Díaz, “Comportamiento de mezclas de mortero con residuos de mármol (polvo), cáscara de nuez y mucílago de nopal”, *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 13, p. 2, 2019.

- [24] R. Torres, D. Morales, M. de L. Ballinas, and G. Nevárez, “El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal\* Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition”, *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas Mex. Cienc. Agríc*, vol. 66, no. 0, pp. 1130–1140, 2015.
- [25] Y. G. Aranda-Jimenez and E. J. Suarez-Dominguez, “Determining the carbon footprint for a new earthen-based finish”, *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 143–148, 2019.
- [26] J. C. Muñoz, R. Quintero, J. Pérez, E. Valdés, B. García, and M. Rojas, “Behavior of Soil Enzyme Activity to Apply Cactus Mucilage ( *Opuntia* spp.)”, *Tierra Latinoamericana*, pp. 161–165, 2015.
- [27] L. M. Nollet and J. Gutierrez Uribe, *Phenolic compounds in food: characterization and analysis*. CRC press. 2018.
- [28] S. Zapata, A. M. Piedrahita, and B. Rojano, “Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia”, *Perspect. en Nutr. Humana*, vol. 16, no. 1, pp. 25–36, 2014.
- [29] S. Shukla *et al.*, “Antidiabetic effect of *Raphanus sativus* root juice”, *Pharm. Biol.*, vol. 49, no. 1, pp. 32–37, 2011.
- [30] S. de agricultura y desarrollo Rural, “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura”, 2020.
- [31] N. Baenas *et al.*, “Metabolic activity of radish sprouts derived isothiocyanates in *Drosophila melanogaster*”, *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 17, no. 2, p. 251, 2016.
- [32] T. Shin, M. Ahn, G. O. Kim, and S. U. Park, “Biological activity of various radish species”, *Orient. Pharm. Exp. Med.*, vol. 15, no. 2, pp. 105–111, 2015.
- [33] A. N. Panche, A. D. Diwan, and S. R. Chandra, “Flavonoids: An overview”, *J. Nutr. Sci.*, vol. 5, pp. 1–5, 2016.
- [34] G. A. Garzón, “Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds. a review”, *Acta Biológica Colomb.*, vol. 13, no. 3, pp. 27–36, 2010.
- [35] N. B. Stebbins, L. R. Howard, R. L. Prior, C. Brownmiller, R. Liyanage, and J. O. Lay, “Formation , Tentative Mass Spectrometric Identification , and Color Stability of Acetaldehyde-Catalyzed Condensation of Red Radish”, *Beverages*, vol. 5, no. 4, p. 64, 2019.
- [36] J. Camargo, D. Constandse, G. Gaytán, and J. Meza, *Tradiciones constructivas de tierra y su pertinencia actual*. 2018.
- [37] H. Niroumand, M. F. M. Zain, and M. Jamil, “A guideline for assessing of critical parameters



- on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 130–165, 2013.
- [38] H. Förster, “UV / VIS Spectroscopy”, in *Characterization I.*, 2004, pp. 337–426.
- [39] S. K. Bharti and R. Roy, “Quantitative H NMR spectroscopy”, *Trends Anal. Chem.*, vol. 35, pp. 5–26, 2012.
- [40] H. Tiernan, B. Byrne, and S. G. Kazarian, “ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging for the analysis of biopharmaceuticals”, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 241, p. 118636, 2020.
- [41] C. Guerrero and L. Cruz, “Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente colombiano con el método SUCS, el AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos”, *Ing. y Desarro. Univ. del Norte*, vol. 36, no. 2, pp. 378–397, 2018.
- [42] S. de comunicaciones y Transportes, *procedimiento para clasificar los materiales para terracerías a que se.* 2003.
- [43] UNE, *UNE 103-103-94 Determination of the Liquid Limit Using the Method of the Device.* 1994.
- [44] B. C. O. Ñ. Kelly, P. J. Vardanega, and S. K. Haigh, *Use of fall cones to determine Atterberg limits : a review*, no. 10. 2018.
- [45] U. ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, *ASTM D 4318-00: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.* 2010.
- [46] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5a ed. México: limusa, 2004.
- [47] S. D. E. Prueba and D. E. Materiales, *Gama de sistemas de prueba automáticos e inteligentes.* 2020.
- [48] DOF, “industria de la construcción-agregados-determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los Angeles, NMX-C-196-ONNCCE-2010”, 2010.
- [49] DOF, “Industria de la construcción - mampostería - determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, NMX-C-037-ONNCCE-2013”, 2013.
- [50] A. M. Hincapié and Y. de J. Montoya, “La microestructura de los prefabricados de concreto”, *Rev. Univ. Eafit*, vol. 41, no. 140, pp. 95–105, 2005.
- [51] R. Campana, L. Sabatini, and E. Frangipani, “Moulds on cementitious building materials—problems, prevention and future perspectives”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 104, no. 2, pp.

509–514, 2020.

- [52] A. Hyvärinen, T. Meklin, A. Vepsäläinen, and A. Nevalainen, “Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials - Concentrations and diversity”, *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 49, no. 1, pp. 27–37, 2002.
- [53] H. Fraire, M.; Nieto, D.; Cárdenas, E.; Gutiérrez, G.; Bujanos, R.; Vaquera, “Hongos Causantes de la Pudrición del Florete de Brócoli Fungi Causes of the Rotting of the Floret of Broccoli”, *Rev. Mex. Fitopatol. A.C.*, vol. 28, no. 1, pp. 25–33, 2010.
- [54] X. Zhang, B. Sahlberg, G. Wieslander, C. Janson, T. Gislason, and D. Norback, “Dampness and moulds in workplace buildings: Associations with incidence and remission of sick building syndrome (SBS) and biomarkers of inflammation in a 10year follow-up study”, *Sci. Total Environ.*, vol. 430, pp. 75–81, 2012.
- [55] S. Ponce *et al.*, “Structural reliability of reinforced concrete buildings under earthquakes and corrosion effects Juan Boj o,” *Eng. Struct.*, vol. 237, no. September 2020, p. 112161, 2021.
- [56] C. A. Juárez, “Comportamiento Analítico-Experimental”, *Investig. y Desarro.*, vol. 6, no. 2, pp. 64–75, 2015.
- [57] L. Guerrero and E. Ávila, “Earthen plasters stabilized with prickly pear cactus”, *Revista Nodo*, vol. 14, no. 27, pp. 53–59, 2019.
- [58] Y. Aranda and E. Suarez, “Efecto de la impermeabilidad del mucílago de nopal en bloques de tierra comprimidos”, *Nova scientia*, vol. 6, no. 11, pp. 311–321, 2013.
- [59] “NMX-C-404-ONNCCE-2012 piezas para uso estructural”, *norma oficial mexicana*, 2012. .
- [60] J. Guillen and M. N. Rojas-Valencia, “Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with Opuntia ficus mucilage for use in the construction industry”, *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 10, pp. 0–6, 2019.
- [61] P. Torres Soria, S. Cruz Flores, N. C. Peña Peláez, S. E. Fernández Mendiola, M. A. Rodríguez Ibarra, and A. Cruz Becerril, “Pablo Torres Soria, Sandra Cruz Flores, Norma Cristina Peña Peláez, Sara Eugenia Fernández Mendiola, Moisés Adrián Rodríguez Ibarra, Alfonso Cruz Becerril”, *Revista Interdisciplinaria del INAH*, pp. 92–114, 2011.
- [62] S. Cabrera, Y. Aranda, E. Suárez, and R. Rotondo, “Bloques de tierra comprimida ( BTC ) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión”, *Habitat Sustentable*, vol. 10, no. 2, pp. 70–81, 2020.
- [63] M. N. Rojas-Valencia and E. Aquino, “Recycling of construction wastes for manufacturing sustainable bricks”, *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.*, vol. 172, no. 1, pp. 29–36, 2019.

- [64] S. Ramírez-Arellanes, P. F. J. Cano-Barrita, F. Julián-Caballero, and C. Gómez-Yáñez, “Propiedades de durabilidad en hormigón y análisis microestructural en pastas de cemento con adición de mucílago de nopal como aditivo natural”, *Mater. Constr.*, vol. 62, no. 307, pp. 327–341, 2012.
- [65] R. Ramdoss, “Characterization of Hydraulic Lime Mortar Containing Opuntia Ficus Indica as a BioAdmixture for Restoration Applications”, *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 3058, no. December, 2015.
- [66] S. Janjua, M. Shahid, and F. Abbas, “Phytochemical analysis and in vitro antibacterial activity of root peel extract of Raphanus sativus L. var niger”, *Adv. Med. Plant Res.*, vol. 1, no. January, pp. 1–7, 2013.
- [67] F. Ahmad, I. Hasan, D. K. Chishti, and H. Ahmad, “Antibacterial Activity of Raphanus Sativus Linn. Seed Extract”, *Glob. Journals Inc.*, vol. 12, no. 11, pp. 26–33, 2012.
- [68] A. B. V. K. Kumar, E. S. Saila, P. Narang, M. Aishwarya, M. Gautam, and E. G. Shankar, “Biofunctionalization and biological synthesis of the ZnO nanoparticles: The effect of Raphanus sativus (white radish) root extract on antimicrobial activity against MDR strain for wound healing applications”, *Inorg. Chem. Commun.*, vol. 100, pp. 101–106, 2019.
- [69] R. Goyeneche *et al.*, “Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (Raphanus sativus L.) leaves and roots”, *J. Funct. Foods*, vol. 16, pp. 256–264, 2015.
- [70] F. M. León-martínez, P. F. D. J. Cano-barrita, L. Lagunez-rivera, and L. Medina-torres, “Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 53, pp. 190–202, 2014.
- [71] K. Chayavanich, P. Thiraphibundet, and A. Imyim, “Molecular and Biomolecular Spectroscopy Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation”, *Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 226, p. 117601, 2020.
- [72] G. Zhang, W. Xue, J. Dai, Q. Xu, Y. Wang, and H. Yuan, “Quantitative proteomics analysis reveals proteins and pathways associated with anthocyanin accumulation in barley”, *Food Chem.*, vol. 298, p. 124973, 2019.
- [73] Z. Anari, C. Mai, A. Sengupta, L. Howard, C. Brownmiller, and S. R. Wickramasinghe, “Combined Osmotic and Membrane Distillation for Concentration of Anthocyanin from Muscadine Pomace”, *J. Food Sci.*, vol. 84, no. 8, pp. 2199–2203, 2019.
- [74] S. Pascoe-Ortiz *et al.*, “Identificación de propiedades presentes en jugo de Opuntia megacantha Salm-Dyck importantes para la producción de biopolímeros”, *Tip Rev. Espec. en Ciencias*

*Químico-Biológicas*, vol. 22, pp. 1–10, 2019.

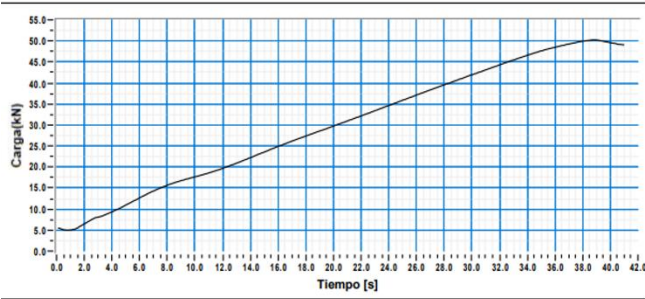
- [75] G. Liberotti and A. Daneels, “Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía),” *Boletín la Soc. Geológica Mex.*, vol. 64, no. 1, pp. 79–89, 2012.
- [76] Y. G. Aranda Jiménez and V. M. García Izaguirre, “Efectos de utilización de savias vegetales en bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión”, *LEGADO Arquít. y Diseño*, vol. 11, no. 19, pp. 101–110, 2016.
- [77] A. A. Velasco-Aquino, J. A. Espuna-Mujica, J. F. Perez-Sanchez, C. Zuñiga-Leal, A. Palacio-Perez, and E. J. Suarez-Dominguez, “Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime”, *J. Eng. Des. Technol.*, vol. 19, no. 3, pp. 795–807, 2020.
- [78] DOF, “Industria de la construcción-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural-especificaciones”, 2005.
- [79] I. C. de N. T. y Certificación, “NORMA NTC 5638 - Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones. Métodos de ensayo”, *Docplayer*. 2005.
- [80] “NOM-111-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Mohos y Levaduras en Alimentos, Diario Oficial de la Nación, Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, México, 1995”, vol. 5002338. pp. 1–14, 2007.
- [81] J. Echeverry-chica, A. Naranjo-díaz, and P. Araque-marín, “Nanoparticles functionalized in situ with D-Limonene : effect on antibacterial activity”, *Rev. Ion*, vol. 1, no. 1, pp. 79–92, 2020.
- [82] SCFI, “NMX-AA-073-SCFI-2001-Análisis de aguas - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba”, *D. Of. la Fed.*, p. 21, 2001.
- [83] NMX-AA-036-SCFI-2001, “Análisis De Agua - Determinación De Acidez Y Alcalinidad En Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba (Cancela a La Nmx-Aa-036-1980)”, *D. Of. la Fed.*, p. 20, 2001.
- [84] NMX-AA-074-SCFI-2014, “Análisis de agua – medición del ion sulfato , en aguas naturales , potables y residuales”, *D. Of. la Fed.*, p. 13, 2014.
- [85] NMX-C-416-ONNCCE-2003, *Determinación del equivalente de arena. Agregados*. 2003.
- [86] T. K. Koley *et al.*, “High resolution LC-MS characterization of phenolic compounds and the evaluation of antioxidant properties of a tropical purple radish genotype”, *Arab. J. Chem.*, vol. 13, no. 1, pp. 1355–1366, 2020.
- [87] A. Garzon and R. E. Wrolstad, “Comparison of the Stability of Pelargonidin-based

- Anthocyanins in strawberry juice and concentrate”, *J. food*, vol. 67, no. 1958, p. 1289, 2002.
- [88] A. Yıldırım, A. Mavi, and B. Bo, “Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Rumex crispus* L. Extracts”, *J. Agric. food chemistry*, vol. 49, no. 8, pp. 4083–4089, 2001.
- [89] E. Fuentes, M. E. Báez, M. Bravo, C. Cid, and F. Labra, “Determination of Total Phenolic Content in Olive Oil Samples by UV-visible Spectrometry and Multivariate Calibration”, *Food Anal. Methods*, vol. 5, no. 6, pp. 1311–1319, 2012.
- [90] L. R. Palomino G, C. M. García P, J. H. Gil G, B. A. Rojano, and D. L. Durango R, “Determination of phenolic content and evaluation of antioxidant activity of propolis from Antioquia (Colombia)”, *Vitae*, vol. 16, no. 3, pp. 388–395, 2009.
- [91] C. C. Urzu, B. Matsuhira, L. E. Lillo, and C. Sa, “Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*”, vol. 63, pp. 263–267, 2006.
- [92] C. Sáenz, E. Sepúlveda, and B. Matsuhira, “*Opuntia* spp mucilage ’ s : a functional component with industrial perspectives”, *Journal of Arid Environments*, vol. 57, pp. 276–278, 2004.
- [93] N. H. Hurtado and M. Pérez, “Identificación, estabilidad y actividad antioxidante de las antocianinas aisladas de la cáscara del fruto de Capulí (*Prunus serotina* spp capuli (Cav) Mc. Vaug Cav).”, *Inf. Tecnol.*, vol. 25, no. 4, pp. 131–140, 2014.
- [94] D. Skoog, F. Holler, and S. Crouch, *Principios de análisis fundamental*, 6ta ed. México, D.F., 2008.
- [95] M. Contreras-Padilla, M. E. Rodríguez-García, E. Gutiérrez-Cortez, M. del C. Valderrama-Bravo, J. I. Rojas-Molina, and E. M. Rivera-Muñoz, “Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode”, *Eur. Polym. J.*, vol. 78, pp. 226–234, 2016.
- [96] ONNCCE, *NMX-C-508-ONNCCE-2015, Building Industry-Compressed earth block lime stabilized-specifications*. 2016.

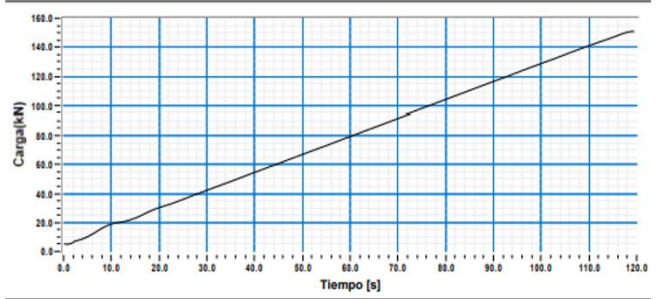
# Anexos

## Anexo 1. Gráficos de resistencia a la compresión

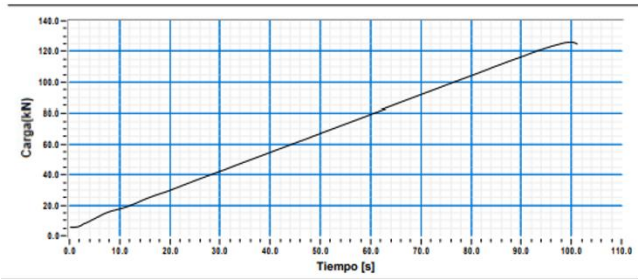
**BLANCO T**



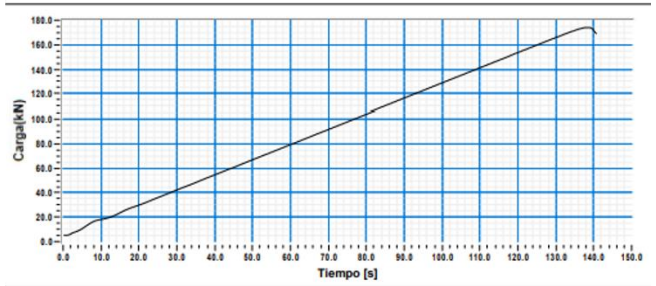
**TM10**



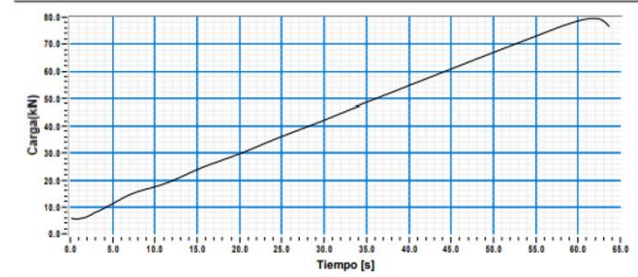
**TM5**



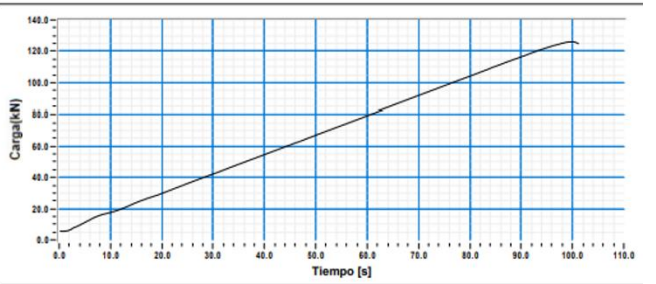
**TM15**



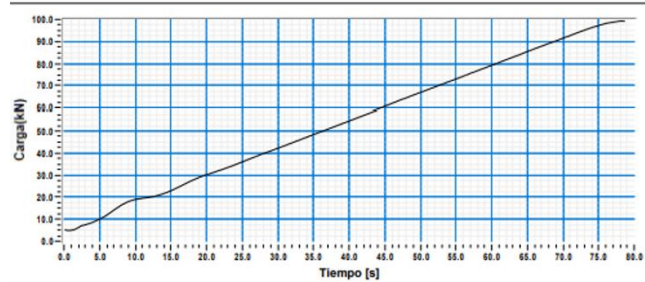
**TMR5**



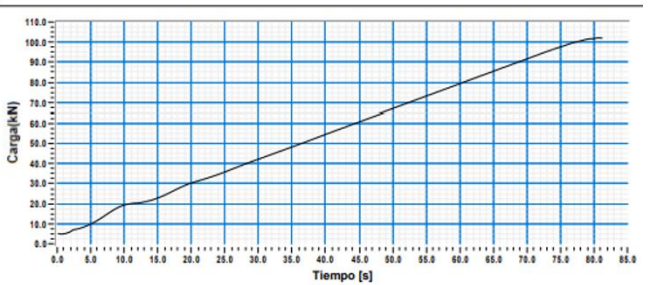
**TMR15**



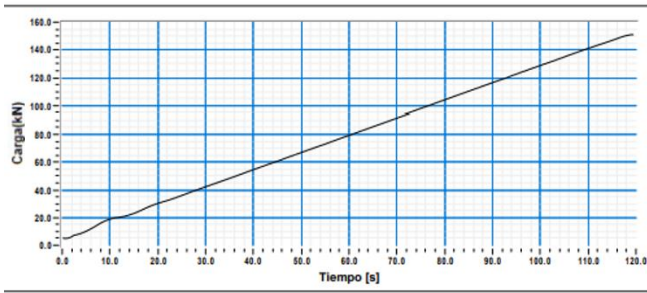
**TMR10**



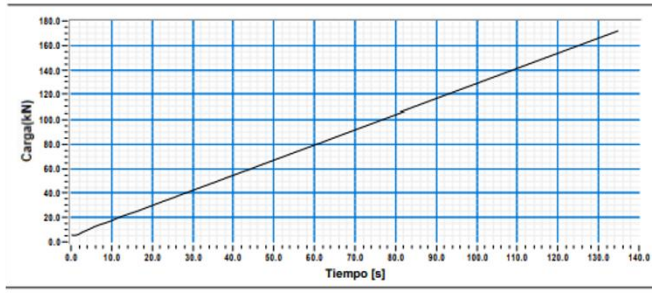
**BLANCO TC**



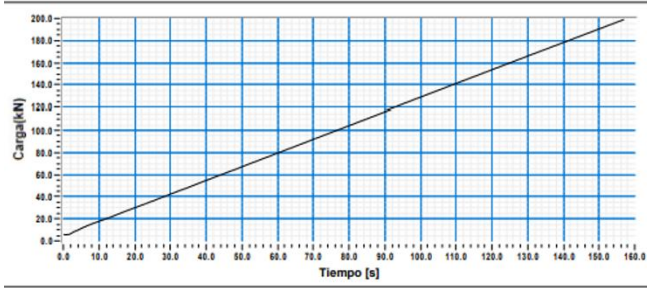
**TCM5**



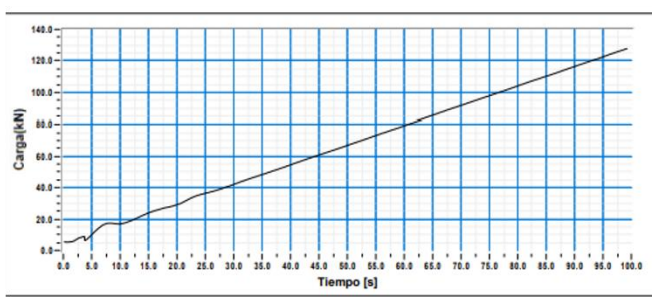
**TCM10**



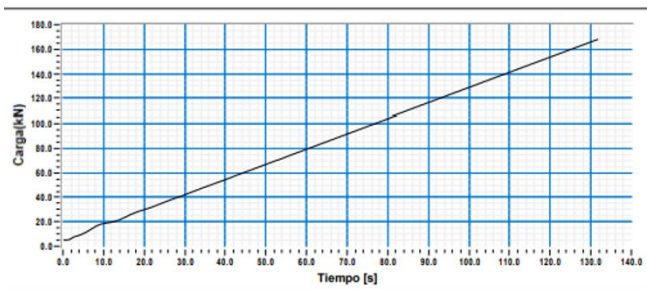
**TCM15**



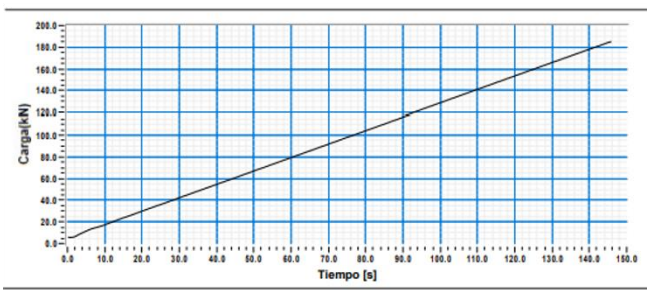
**TCMR5**



**TCMR10**



**TCMR15**



Anexo 2. Participación en congreso SIACOT con ponencia oral.



Se otorga el certificado de

# PARTICIPANTE VIRTUAL

A

*Mildred Michelle Navarro Reyes*

Por su participación en el 20° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y  
Construcción con Tierra (Siacot)

Realizado en Trinidad del 4 al 9 de abril de 2022







Anexo 3. Participación en memorias del Congreso SIACOT con extenso

**20º Seminario Iberoamericano  
de Arquitectura y Construcción con Tierra**  
Trinidad - Cuba, 4 al 9 de abril de 2022

**20º SIACOT**  
Revive la tierra



# Memorias

editores:  
**Alejandro Ferreiro**  
**Zazanda Salcedo Gutierrez**  
**Célia Neves**



ISBN 978-959-294-263-9

<b>Estabilización de suelos entisoles salinizados para conservación de estructuras de adobe históricas</b>	<b>115</b>
Guillermo Rolón, Gonzalo García Villar, Mariana Romiti	
<b>Cal química para la estabilización de suelos arcillosos</b>	<b>127</b>
Elena Guadalupe Navarro Mendoza, Elia Mercedes Alonso Guzmán, Luis Alfredo Ayala Ortega, Adría Sánchez Calvillo	
<b>Propiedades mecánicas, estéticas y dinámicas de arcillas estabilizadas</b>	<b>133</b>
Elia Mercedes Alonso-Guzman, Wilfrido Martinez-Molina, Adrià Sanchez-Calvillo, Hugo Luis Chavez-Garcia, José Luis Ruvalcaba-Sil	
<b>Influencia de los tipos de arcillas y características físicas de suelos tucumanos en la adherencia de revoques de tierra</b>	<b>143</b>
Gonzalo García Villar, Enzo Marcial, Guillermo Rolón	
<b>Mortero de tierra modificado con extractos orgánicos aplicado en elementos estructurales</b>	<b>154</b>
Mildred Navarro; S. Beatriz Sibaja; Josué F. Pérez	
<b>Estabilización de una mezcla a base de tierra por medio de tratamiento térmico</b>	<b>163</b>
Araí S. Rieppi Godoy, Lucas E. Peisino, Rosana Gaggino, Guillermo Rolón, Bárbara Belén Raggiotti	
<b>Bloques de tierra comprimida estabilizada con cal y adiciones minerales</b>	<b>174</b>
Virginia Clausen, Santiago Cabrera, Ariel González	
<b>Capa sobre capa. Alteraciones y recuperación de la torta de barro de la Iglesia de Uquia, Jujuy, Argentina</b>	<b>187</b>
Jorge Tomasi, Julieta Barada	
<b>Ensayos de materiales de acabado a base de cal y sintéticos para el mantenimiento del enlucido del Templo de Santiago Apóstol de Kuñotambo, Perú</b>	<b>200</b>
Benjamin Marcus, Elena Macchioni, Clemencia Vernaza, Claudia Cancino	
<b>Evaluación de la adherencia de capas de agarre para revoques de tierra sobre paredes de técnica mixta</b>	<b>210</b>
Gonzalo García Villar	
<b>Resistência à abrasão e poder de cobertura de pinturas produzidas com pigmentos obtidos de solos</b>	<b>220</b>
Fernando de Paula Cardoso, Leonardo Gonçalves Pedroti, Anôr Fiorini de Carvalho, Milene Gil Duarte Casal, Kai Loh	
<b>Resistência ao intemperismo natural de pinturas produzidas com pigmentos obtidos de solos</b>	<b>234</b>
Fernando de Paula Cardoso, Leonardo Gonçalves Pedroti, Anôr Fiorini de Carvalho, Milene Gil Duarte Casal, Kai Loh	
<b>Ecoacabados: revestimientos coloreados con pigmentos terrosos</b>	<b>247</b>
Oscar José Becerra Mejía, Gloria Lucia Medina Barona	
<b>INFORMES TÉCNICOS</b>	
<b>Comportamiento de la resistencia mecánica de tierra vertida con ixtle y mucílago de nopal</b>	<b>260</b>
Edgardo J. Suárez-Domínguez, Yolanda G. Aranda-Jiménez, Josué F. Pérez-Sánchez	



# MORTERO DE TIERRA MODIFICADO CON EXTRACTOS VEGETALES ORGÁNICOS APLICADO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Mildred Navarro<sup>1</sup>; S. Beatriz Sibaja<sup>2</sup>; Josué F. Pérez<sup>3</sup>

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tecnológico Nacional de México,

<sup>1</sup>G15071550@cdmadero.tecnm.mx; <sup>2</sup>Silvia.bs@cdmadero.tecnm.mx

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas, josue.perez@uat.edu.mx

**Palabras clave:** antocianinas, mucílago de nopal, extracto de rábano rojo, inhibición microbiana, protección contra iones

## Resumen

La tierra es un material de construcción fundamental debido a su disponibilidad y propiedades. Al ser muy común, se buscan métodos que incrementen su uso para mejorar el bienestar económico y social, además de reducir el impacto ambiental. Con este objetivo se han aplicado técnicas modernas a fin de mejorar los sistemas constructivos y optimizar los elementos construcción a base de tierra, en términos de resistencia mecánica y durabilidad, mediante la adición de componentes orgánicos. El presente artículo propone un mortero de tierra como una alternativa para mejorar la calidad de los materiales de construcción de la vivienda rural, en cuanto a las propiedades mecánicas de los elementos constructivos y la mejora de la calidad del ambiente interior. Produciendo una mezcla con suelo arcilloso y un suelo limoso, así mismo, estabilizado con hidróxido de calcio, además de la incorporación de los extractos orgánicos en diferentes dosificaciones: mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) con el cual se refuerza la aglomeración de los agregados y obtiene una mayor resistencia mecánica y el extracto de rábano rojo (*Raphanus Sativus*) que aportara la interacción con iones en un medio acuoso salino.

## 1 INTRODUCCIÓN

La construcción con tierra es una alternativa a la insuficiencia de viviendas adecuadas y la vulnerabilidad del hábitat, los cuales son reflejos de la difícil situación económica y social que se vive en zonas rurales, donde las posibilidades de tener una vivienda de calidad, desde su construcción hasta su mantenimiento, representan una limitante para el desarrollo pleno de una población. Por lo anterior, es necesario buscar alternativas que se adapten a las condiciones físicas, económicas y sociales de los usuarios. La mayoría de las viviendas presentan problemas debido a materiales impropios, a la alta humedad del ambiente y la ventilación inapropiada que provoca enmohecimientos, los cuales llegan a afectar a la salud (Ramírez Rodríguez et al., 2013). El presente trabajo propone elaborar un mortero a base de tierra, modificado con mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), estabilizado con cal, adicionando extracto de rábano (*Raphanus Sativus*), para usarlos como una alternativa para potenciar un efecto antimicrobiano y favorecer la interacción de iones en medio acuoso salino para emular las condiciones de salinidad presente en el ambiente en el que se encuentran las edificaciones. Para lograrlos se estableció obtener los extractos de mucílago y rábano, así mismo, caracterizar por espectroscopia ultravioleta-visible (UV-vis) para determinar el contenido total de fenoles y antocianinas, resonancia magnética nuclear (RMN), así como espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para estudiar la estructura química y determinar las características de los fenoles y antocianinas extraídas, realizando probetas con mortero de tierra, agregando extractos orgánicos, en diferente dosificaciones de 5, 10 y 15% v/v de los extractos y determinar resistencia a la compresión, así como las pruebas de interacción en medio acuoso salino.

## 2 DESARROLLO

Para la obtención de extracto de mucílago se utilizó 1 kg de cladodios y se colocaron en un recipiente, añadiendo agua destilada para obtener una mezcla con una relación agua-material crudo en peso de 2:1. El cual se extrajo a una temperatura de  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  durante un periodo de 3 h en agitación manual cada 10 min; posteriormente, se filtró la mezcla para eliminar las partículas gruesas usando un tamiz No.100 ( $150 \mu\text{m}$ ) y se mantuvo en refrigeración hasta su uso (León-Martínez et al., 2014).

En la obtención del extracto de rábano se mezclaron 421 g de piel de rábano con 1648 mL de una mezcla acidificada (HCl al 1% v/v) de agua-etanol (50/50% v/v) como medio de extracción; posteriormente se filtró para eliminar partículas fibrosas. En relación sólido-líquido de 1:4 con un tiempo de molienda mecánica de 2 min a temperatura ambiente. El producto de la extracción se sometió a un proceso de centrifugación a 6,000 rpm durante 20 minutos para eliminar las partículas suspendidas en la mezcla y un segundo ciclo de 10 minutos para asegurar la eliminación de otras partículas suspendidas y se dejó reposar por 24 h en refrigeración para preservar sus propiedades (Chayavanich et al., 2020).

### 2.1 Caracterización de los extractos obtenidos

En la caracterización de los extractos de mucílago de nopal y rábano se realizó por espectroscopia ultravioleta visible (UV-vis) para determinar el contenido total de fenoles en el mucílago y antocianinas en el rábano, así mismo, resonancia magnética nuclear (RMN) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para estudiar su estructura química y determinar las características de los fenoles y antocianinas extraídas. Por lo tanto, para la cuantificación por medio de UV-vis se obtuvo una mezcla, la cual se ajustó a un pH ácido (pH 1) con la finalidad de llevar las antocianinas a la forma de ion flavilio, realizando una solución con 250 mg de muestra, adicionando etanol acidificado (etanol/HCl 1N en proporción 85:15 v/v) y se sometió a 6,000 rpm durante 40 min; posteriormente se determinó el pH, el cual debe mantener un valor de 1 con HCl 4N. La mezcla se afora a 50 mL con etanol acidificado y finalmente se le da lectura. La concentración de antocianinas totales se calculó de acuerdo con la ecuación 1.

$$\text{concentraci3n de antocianinas totales} = \frac{A \times PM \times DF \times 10^3}{\epsilon \times L} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (1)$$

D3nde:

A= absorbancia  $A_{510}(\text{pH } 1.0) - A_{510}(\text{pH } 4.5)$

PM = es la masa molar de la antocianina (433.2 g/mol)

DF= es el de factor de diluci3n

$\epsilon$ = coeficiente de extinci3n ( $31600 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ )

L= longitud (1 cm)

Para la concentraci3n de fenoles se determin3n mediante la colorimetría por el m3todo de Folin Denis (Jurado et al., 2016), donde el m3todo consiste en tomar 0.5 mL de mucílago de nopal, a los cuales se aña de 0.75 mL de reactivo Folin-Denis 1N y 0.75 mL de carbonato de sodio al 20%; se agita y se deja reposar en oscuridad por 90 min. Transcurrido el tiempo se analiza la muestra y los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalente por mL (mg GAE/mL), a partir de una curva de calibraci3n construida con concentraciones conocidas del ácido gálico como referencia.

Así mismo, se tiene la caracterizaci3n por RMN de los extractos con un sistema Bruker Ascend 400, para confirmar la presencia de fenoles en el mucílago y antocianinas en el rábano, donde los extractos fueron mezclados en una soluci3n de 30 mg en 0.55 mL de solvente ( $\text{D}_2\text{O}$ ) y las mezclas se analizaron con una frecuencia de 400 MHz y secuencia de 30 pulsos electromagn3ticos con registro de 48 escaneos a  $25^\circ\text{C}$ .

Finalmente, para determinar los grupos funcionales presentes en los extractos se utiliz3n el FTIR marca Perkin Elmer modelo Spectrum 100, donde se emple3n la t3cnica de reflectancia

total atenuada (ATR) con resolución de  $4 \text{ cm}^{-1}$  y 16 escaneos, en un intervalo de 4000 a  $400 \text{ cm}^{-1}$  (Tiernan et al., 2020).

## 2.2 Preparación y caracterización del mortero

La preparación de la mezcla es a base de suelo limoso y arcilloso, se trabajó las probetas con dos líneas de preparación, una estabilizada con cal y una sin estabilizar. Además, se añadió extractos de mucílago y de rábano en diferentes proporciones; para las muestras modificadas con extracto de mucílago se emplearon concentraciones de 5, 10 y 15% m/m y para las muestras modificadas con extracto de mucílago y extracto de rábano se utilizaron concentraciones de 2.5, 5 y 7.5 % m/m para cada una, como se muestra en la tabla 1. Las probetas cilíndricas se compactaron a 8000 psi por 15 min en una prensa hidráulica Marca Offite.

Tabla 1. Diseño de experimentos

ID Prueba	Mezcla de suelos [%m/m]		Estabilizante [%m/m]	Extractos orgánicos [%m/m]	
	Arcilla	Suelo limoso	Cal	Mucílago	Rábano
Blanco 1 (T)	70	30	0	0	0
TM5	67.5	27.5	0	5	0
TM10	65	25	0	10	0
TM15	62.5	22.5	0	15	0
TMR5	67.5	27.5	0	2.5	2.5
TMR10	65	25	0	5	5
TMR15	62.5	22.5	0	7.5	7.5
Blanco 2 (TC)	70	20	10	0	0
TCM5	67.5	17.5	10	5	0
TCM10	65	15	10	10	0
TCM15	60	15	10	15	0
TCMR5	67.5	17.5	10	2.5	2.5
TCMR10	65	15	10	5	5
TCMR15	62.5	12.5	10	7.5	7.5

T=mezcla de tierra, C=cal, M=extracto de mucílago, R=extracto de rábano.

## 2.3 Pruebas de resistencia mecánica

Esta prueba se empleó para determinar las propiedades mecánicas de las probetas fabricadas y se empleó una maquina universal computarizada. Así mismo se obtendrá la resistencia a la compresión del material y este se hizo por triplicado para obtener un valor promedio.

La resistencia a la compresión se calculó con base en el concepto de esfuerzo normal en mecánica de materiales, con la ecuación 2

$$R = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde

R, F y A representan la resistencia a la compresión ( $\text{N/m}^2$ ), carga aplicada (N) y área de la sección transversal ( $\text{m}^2$ ).

## 2.4 Prueba de interacción en medio acuoso salino

La interacción se realizó por el método de Mohr, aplicando las indicaciones de la norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Así mismo, las pruebas se realizaron con una disolución 0.0014 N de NaCl, de la cual se tomaron alícuotas para la prueba de cloruros; en dicha prueba se sometieron todas las muestras que se mencionaron en la tabla 1, con el objetivo de observar el efecto de cada una de las concentraciones. Las probetas se colocaron alícuotas de 100 mL de las muestras acuosas bajo análisis, en agitación constante a aproximadamente 30 rpm. Dicha prueba consistió en tomar una alícuota cada 20 minutos. La alícuota se aforo y se le adiciono 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio ( $K_2CrO_4$  0.014 N), seguido de una titulación con nitrato de plata ( $AgNO_3$  0.014 N) hasta que se logró el vire de color amarillo a naranja ladrillo.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Determinación de contenido de fenoles totales

Se midió la absorbancia de las soluciones de ácido gálico patrón. Con dichos datos se elaboró la curva patrón respectiva (figura 1).

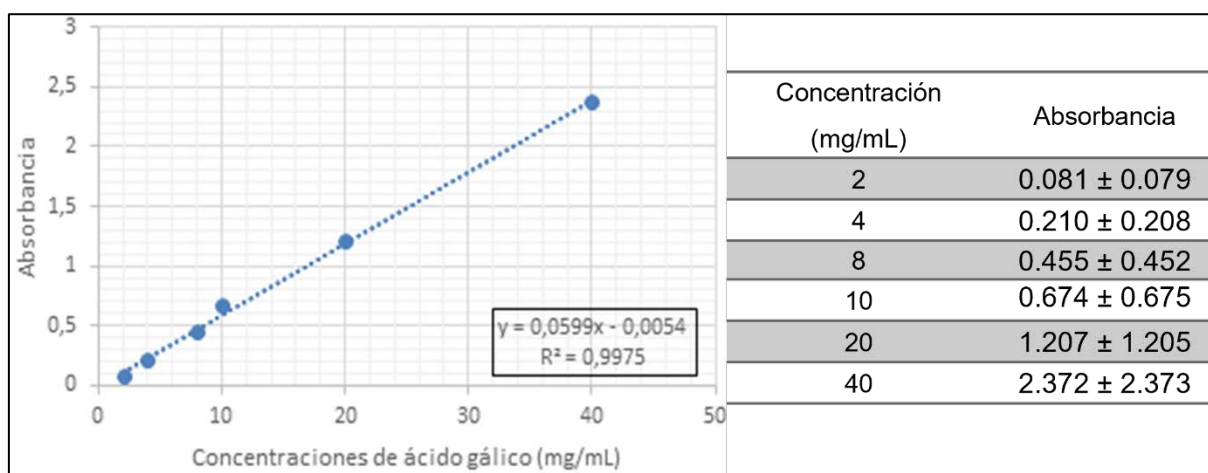


Figura 1. Curva de calibración del ácido gálico

Así mismo, mediante el análisis de UV-vis, del extracto de mucílago de nopal se obtuvo 3.8737 de absorbancia, empleando la siguiente fórmula se relacionó la concentración del ácido gálico con la absorbancia.

$$\text{Contenido de Fenoles totales} = \frac{3.8731 - 0.0054}{0.0559} = 69.2 \text{ mg/mL}$$

Se reportaron 69.18 mg GAE/mL de fenoles totales en el extracto de mucílago de nopal.

### 3.2 Determinación de antocianinas totales en el extracto de rábano

La figura 2 muestra los espectros de absorbancia en la región UV-vis de la solución de extracto de rábano a un pH1 dando absorbancias más altas y en un pH4.5 disminuye la extracción de las antocianinas, provocando un decremento en la absorción en la región visible. La finalidad de llevar las antocianinas a la forma de ion flavilio se realizó para generar un radical libre en el extracto que propicia la interacción de iones en medio acuoso en el mortero de tierra. Esto permite la retención de los iones cloruro y sulfatos en la matriz del mortero evitando su flujo hacia el ambiente interior y protegiendo otros elementos del sistema constructivo. La solución del mucílago de nopal muestra un pico ubicado a 510 nm en la región de luz visible, lo cual indica la presencia de antocianinas (Giusti; Wrolstad, 2003). A partir de la información obtenida en este análisis se calculó el contenido total de antocianinas, para la aplicación de la ecuación 1.

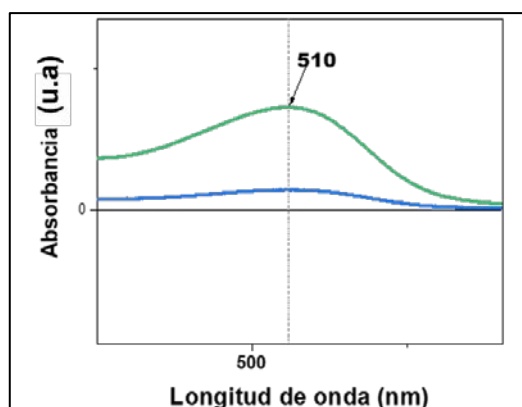


Figura 2. Espectros UV-Vis del extracto de rábano rojo

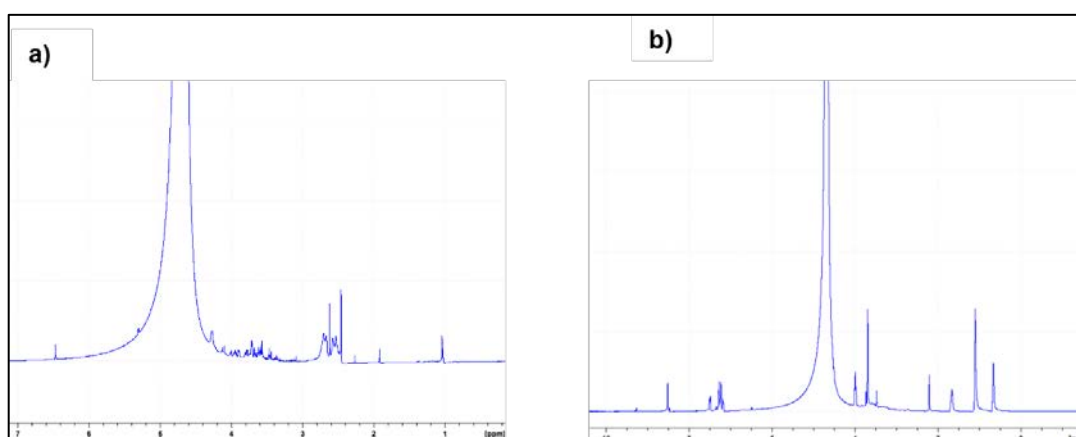
$$\begin{aligned} \text{contenido total de antocianinas } \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) &= \frac{A \times 433.2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1 \times 10^3}{31600 \frac{1}{\text{M} \cdot \text{cm}} \times 1 \text{ cm}} \\ &= 39,3 \times 10^3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

### 3.3 Análisis RMN de los extractos obtenidos

Se muestra la caracterización en la figura 3a el espectro del mucílago de nopal, donde se observa en 6.4 ppm la presencia de un grupo aromático, dando características a los fenoles, posteriormente en menor frecuencia se observa una señal en 4.8 ppm correspondiente al patrón residual del solvente deuterado. En los espectros 4.3, 4.2 – 3.4 ppm indican la presencia del ácido galacturónico, lo cual menciona (Matsuhira et al., 2006) quienes estudiaron este compuesto y asignan estas señales. Sin embargo, los espectros encontrados entre 4.3 – 3.4 son característicos de azúcares, además de la señal encontrada a 3.2 ppm que por su forma denota la presencia de alcoholes, así mismo en 2.5 y 1 ppm se le atribuye al grupo grupo metilo, en el cual está presente la ramnosa.

Así también, se muestra el espectro de resonancia del extracto de rábano, donde se les atribuye a compuestos aromáticos en 7-9 ppm, los cuales pueden ser dos anillos presentes en la estructura de las antocianinas. Se tiene a 6.2 ppm la presencia de CH<sub>2</sub>=C, ArOH, HC=C-H-N-C=O, ArH y en 4.05 ppm se tiene OCH<sub>3</sub> una región de azúcares, así mismo para los desplazamientos en 3.9-3.53 ppm. Además de tener en 1.8-1.1 ppm grupos metilo.

La caracterización de estos compuestos es importante pues se debe confirmar que los métodos de extracción están siendo realizados de forma adecuada en comparación con la literatura. Además, la función de retención de iones en el mortero se debe a la presencia de estos compuestos, por lo que su identificación es relevante.

Figura 3. Espectros de <sup>1</sup>H de RMN del mucílago de nopal purificado (a) y del extracto purificado del rábano (b)

### 3.4 Determinación de grupos funcionales por FTIR

Este análisis permitió determinar los grupos funcionales de los compuestos en los extractos de rábano y nopal y así obtener señales que pueden relacionarse fácilmente con compuestos éter, aminas y amidas, mismos que se encuentran en las estructuras químicas de los extractos. En la figura 4a se muestran los espectros del mucílago de nopal, dichas bandas son identificadas de acuerdo con (Skoog et al., 2008) y (Contreras-Padilla et al., 2016) son bandas en  $3300\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los grupos hidroxilo, asociados en una región donde se encuentran los fenoles ya que tienden a encontrarse en frecuencias de  $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ . En  $2924\text{ cm}^{-1}$  se observó un estiramiento característico del alcano. En la banda a  $2850\text{ cm}^{-1}$  se atribuye al grupo dando características de los polisacáridos pépticos, así también, se tiene una señal en  $2120\text{ cm}^{-1}$  correspondiente al grupo alcano; se aprecia una banda a  $1582\text{ cm}^{-1}$  correspondiente al grupo carboxilo. En la banda  $1391\text{ cm}^{-1}$  se observan una flexión atribuyéndose al grupo alcano y las señales que se presentan en  $1265$ ,  $1230$  y  $1047\text{ cm}^{-1}$  son estiramientos que se le atribuye al anillo de la piranosa del término de los sacáridos y así mismo con una banda en  $890\text{ cm}^{-1}$  la cual es característica de los azucares. Debido a esta caracterización se identificaron los grupos funcionales del mucílago de nopal, donde se encontró con grupos amina, los cuales son asociados a las moléculas de polisacáridos, mismo que es utilizado como aditivo en la mezcla del mortero, el cual ayuda en la retención de agua, favoreciendo al material.

En el extracto de rábano rojo, se muestran espectros en las figuras 3b y 4b bandas a  $3394\text{ cm}^{-1}$  con estiramiento y esto se debe al grupo hidroxilo -OH y así también como la presencia de aminas -NH, así mismo, se apreció a  $2927$  y  $2857\text{ cm}^{-1}$  un estiramiento correspondiente al grupo alcano, ligado a metilo. En la señal de  $2062\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo de los alquinos C=C; y el que aparece en  $1654\text{ cm}^{-1}$  se debe al estiramiento del grupo carbonilo, las señales que vienen a continuación son derivados de compuestos orgánicos como los son los flavonoides también denominadas antocianinas que se encuentran presentes en el extracto y se observaron bandas a  $1388\text{ cm}^{-1}$  dando un estiramiento que corresponde al grupo carboxílico.

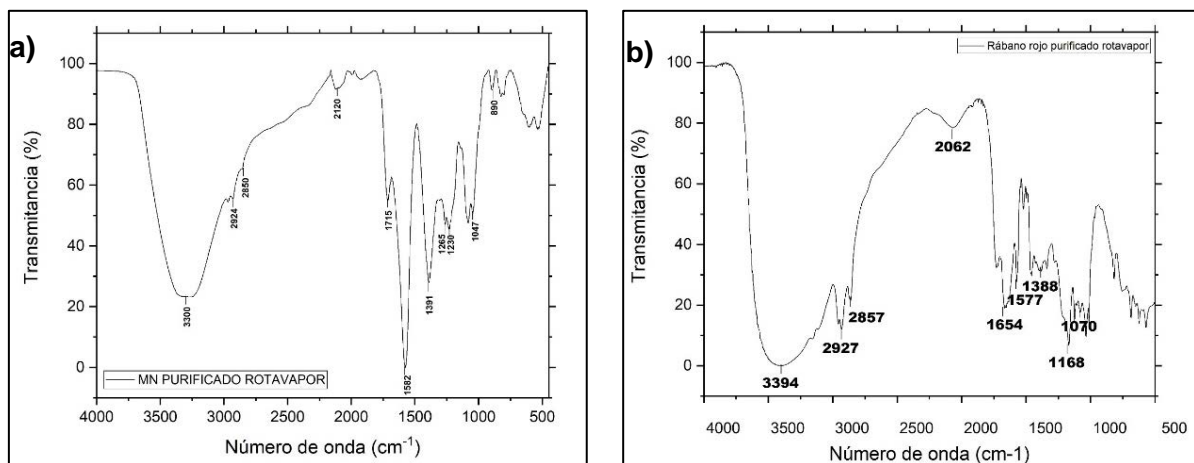


Figura 4. Espectros FTIR del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y del rábano rojo (*Raphanus sativus*).

### 3.5 Pruebas de resistencia a la compresión

Los resultados de las pruebas mecánicas en el mortero de tierra con extracto de mucílago y rábano se desprenden del ensayo de compresión que se muestra en la tabla 2 y figura 5, donde se puede apreciar que no hay una diferencia significativa en la resistencia a la compresión entre los blancos y las muestras tratadas con los compuestos vegetales orgánicos o estabilizadas con cal. Sin embargo, en las muestras estabilizadas con cal y que además cuentan con los dos extractos se puede observar una desviación estándar mucho menor que aquellas muestras que no tienen estas características, por lo tanto esto es un indicativo de la estabilidad que confiere los materiales en los elementos constructivos.



Tabla 2. Resistencia a la compresión

ID	Resistencia a la compresión (MPa)
Blanco 1 (T)	0.7216 ± 0.0796
TM5	0.7007 ± 0.0878
TM10	0.6799 ± 0.0575
TM15	0.6080 ± 0.0628
TMR5	0.6000 ± 0.0320
TMR10	0.6208 ± 0.0451
TMR15	0.6187 ± 0.0288
Blanco 2 (TC)	0.6373 ± 0.0480
TCM5	0.4480 ± 0.0335
TCM10	0.4503 ± 0.0363
TCM15	0.5168 ± 0.0301
TCMR5	0.5548 ± 0.0378
TCMR10	0.5539 ± 0.0454
TCMR 15	0.5488 ± 0.0185

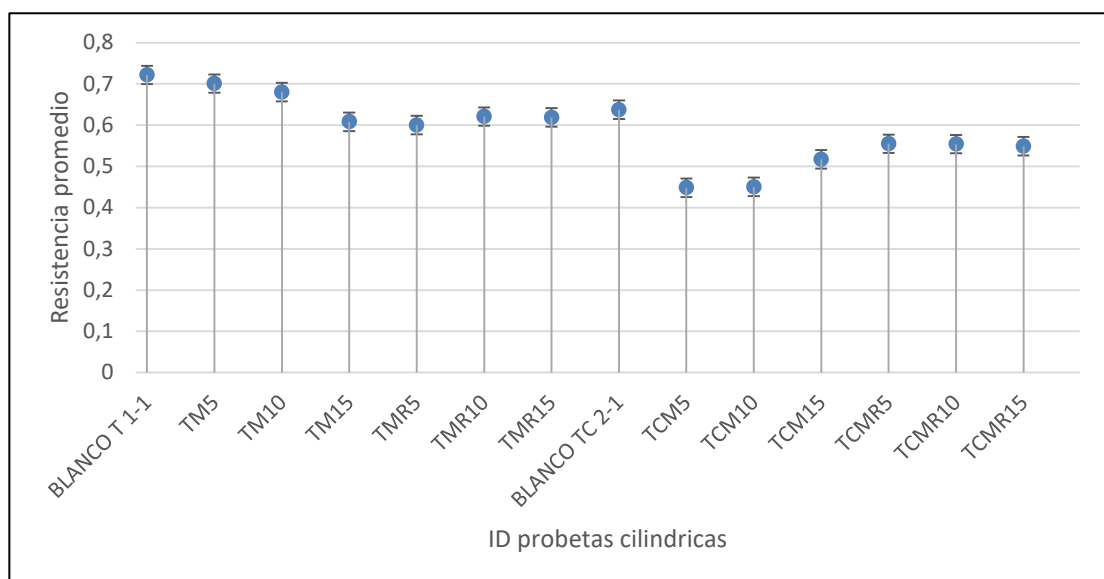


Figura 5. Resistencia a la compresión

### 3.6 Interacción en medio acuoso salino

Para la determinación de cloruros se aplicó el método de Mohr, cuyos resultados se observaron que las probetas que solamente contienen mucílago de nopal presentan cierta interacción positiva con los iones cloruros, sin embargo, esta interacción no es estable, pues como se puede observar las variaciones son mucho más marcadas que en el caso de las probetas que tienen el extracto de rábano como se puede mostrar en la figura 6, esto es un indicativo de que el extracto de rábano estabiliza esa interacción y permite entonces que el material retenga de manera adecuada estos iones y que estos no se filtren hacia el interior de la probeta, si no que se pueden mantener en la superficie o en el elemento de tierra y esto permitiría entonces combinar los materiales con otros como el acero, para brindar un método de prevención de la oxidación, es importante mencionar que esta prueba aunque solo se realizó con cloruros, la literatura reporta que el extracto de rábano y el mucílago de nopal también presentan interacción con metales pesados y otros entes iónicos, por lo tanto

como trabajo futuro se debe estudiar la interacción con otros iones o incluso con ese tipo de materiales o elementos inorgánicos.

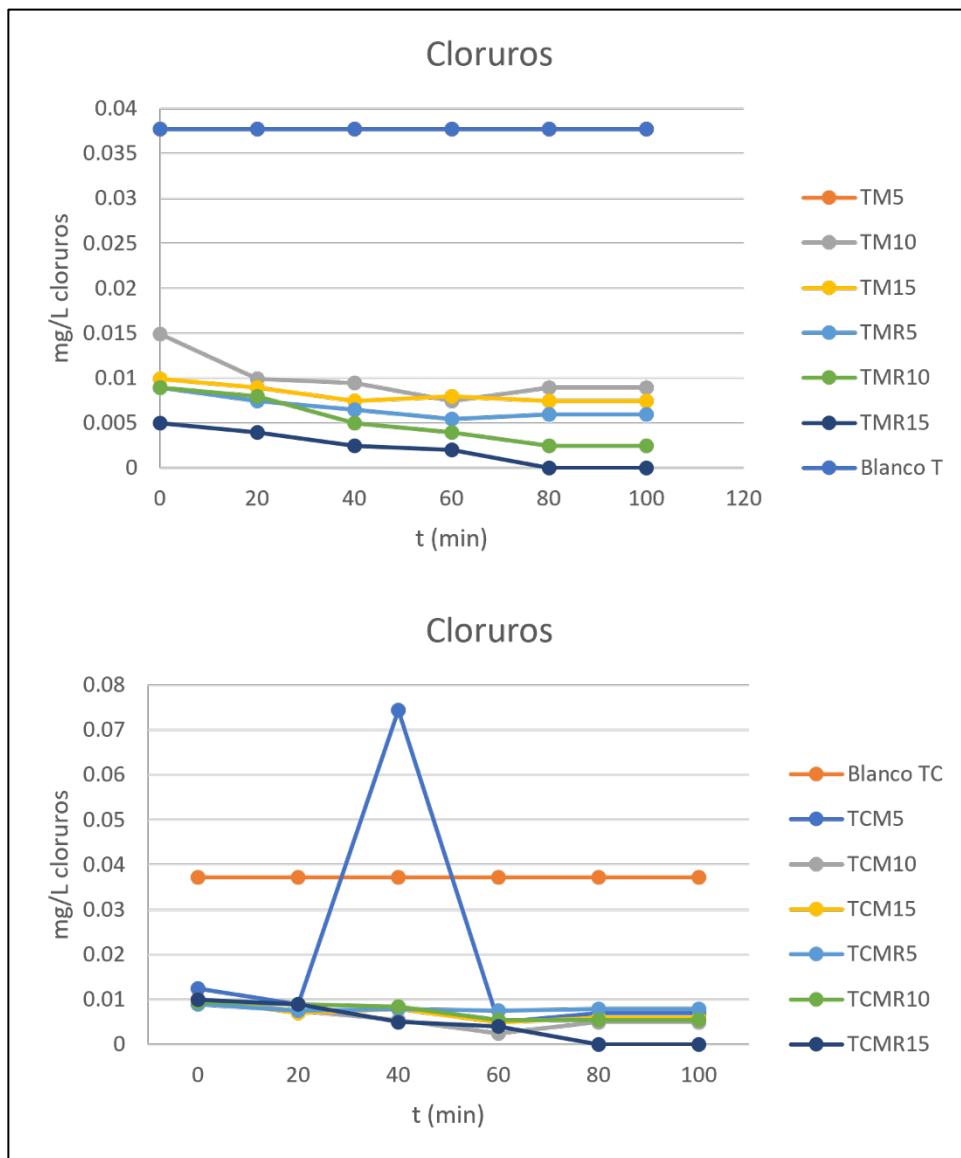


Figura 6. Determinación de cloruros por el método de Mohr

#### 4 CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió el efecto de la interacción de mucílago de nopal y extracto de rábano en morteros de tierra a base de arcilla y suelo limoso estabilizados con cal. El mucílago se obtuvo por el método de cocción y el extracto de rábano por trituración. En las antocianinas en el extracto de rábano, que son aquellas moléculas que presentarían la interacción con los iones en el medio acuoso, se encontró una concentración de  $39,3 \times 10^3$  mg/kg de material extraído de la materia prima, mientras que, para el mucílago del nopal, cuyas moléculas principales son los fenoles, se obtuvo una concentración de 69.2 mg/mL.

En cuanto a la resistencia a la compresión de los materiales no se observaron variaciones significativas con respecto a los blanco o a las muestras que no contienen los extractos o que no están estabilizados con cal, sin embargo, se observa una menor desviación estándar durante las pruebas de compresión, lo cual es un indicativo de la mayor estabilidad que tienen estos elementos cuando se emplean como elementos constructivos o elementos estructurales por la repetibilidad que se confiere al emplear los materiales orgánicos.

En cuanto a la interacción con iones cloruro, se observa que el extracto de rábano produce una mayor estabilidad que la que solamente presenta el mucílago en las probetas, esto entonces se puede tomar como un trabajo futuro para estudiar o evaluar las características principales de estos materiales, como, prevención a la corrosión y que entonces los materiales con tierra se puedan combinar también con otros materiales para reforzar la estructuras como lo es el acero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chayavanich, K.; Thiraphibundet, P.; Imyim, A. (2020). Molecular and biomolecular spectroscopy biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation. *Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 226, 117601.

Contreras-Padilla, M.; Rodríguez-García, M. E.; Gutiérrez-Cortez, E.; Valderrama-Bravo, M. del C.; Rojas-Molina, J. I.; Rivera-Muñoz, E. M. (2016). Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus mucilage* at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, 78, 226–234.

Jurado, B.; Aparcana, I. M.; Villarreal, L. S.; Ramos, Eva; Calixto, M. R.; Hurtado, P. E.; Acosta, K. M. del C. (2016). Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) de diferentes lugares del Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3): 272–79

Giusti, M. M.; Wrolstad, R. E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, 14, 217–225.

León-martínez, F. M.; Cano-barrita, P. F. D. J.; Lagunez-rivera, L.; Medina-torres, L. (2014). Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials. *Construction and Building Materials*, 53, 190–202.

Matsuhiro, B.; Lillo, L. E.; Sáenz, C.; Urzúa, C. C.; Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate polymers*, 63(2), 263-267

NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua – determinación de cloruros totales en agua naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

Ramírez Rodríguez, M.; Aguiluz León, J.; Gutiérrez Martínez, R. (2013). Prototipo de vivienda de adobe con energías renovables: caso de estudio. *CIENCIA Ergo-Sum*, 20(3), 231–237.

Skoog, D.; Holler, F.; Crouch, S. (2008). Principios de análisis fundamental. In Cengage Learning.

Tiernan, H.; Byrne, B.; Kazarian, S. G. (2020). ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging for the analysis of biopharmaceuticals. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 241, 118636.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado a través del programa de becas nacionales (1086754)

Al centro de investigación en petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tecnológico Nacional de México y al centro de investigación de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas por las facilidades prestadas para el desarrollo de la investigación

## AUTORES

Mildred Navarro, Ingeniera ambiental, estudiante de la maestría en ciencias de la ingeniería del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tecnológico Nacional de México.

S. Beatriz Brachetti, jefa de laboratorio de síntesis del centro de investigación en petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tecnológico Nacional de México, cuenta con experiencia en técnicas de análisis.

Josué F. Pérez, jefe de laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Anexo 4. Participación en proyecto PRONACES de CONACYT



CONVOCATORIA 2020 PARA LA ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INCIDENCIA PARA UNA VIVIENDA ADECUADA Y ACCESO JUSTO AL HÁBITAT

FOP01-2020-01 VIVIENDA ADECUADA.

= INFORME TÉCNICO =

315372 - Funcionalización sustentable de materiales tecnificados para la mejora del hábitat rural basados en la construcción con tierra



Unidad Académica de Trabajo Social  
y Ciencias para el Desarrollo Humano



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CIUDAD MADERO

**ITCM**



TECNM  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE  
MÉXICO



Centro Mexicano  
para la Producción  
más Limpia

Instituto Politécnico Nacional



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
**UNAM**



## Contenido

Objetivo general del proyecto.....	4
Equipo de investigación e incidencia .....	4
Investigadores .....	4
Comunidades, colectivos y/o grupos de la sociedad civil .....	5
Instituciones públicas y autoridades.....	5
Generalidades .....	5
Actividades de incidencia social .....	6
Actividades de desarrollo tecnológico. ....	30
Metas cumplidas .....	39
Beneficios e impactos positivos logrados .....	41
Impacto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	42
Conclusiones .....	43
Referencias.....	45

## Índice de tablas

Tabla 1. Datos estadísticos de población y vivienda de las localidades.....	7
Tabla 2. Datos estadísticos de vivienda de las localidades en 2020. ....	8
Tabla 3. Resultados del análisis de los suelos tipo tierra amarilla en el Norte de Veracruz.....	22
Tabla 4. Proporciones en %peso de los componentes de las mezclas.....	32
Tabla 5. Propiedades físicas de los muros en vivienda de bahareque.....	36

## Índice de figuras

Figura 1. Localización de Pueblo Viejo y Tampico Alto en el estado de Veracruz Ignacio de la Llave.6	
Figura 2. Evidencias fotográficas de las visitas realizadas.....	9
Figura 3. Tipología de viviendas encontradas en las visitas realizadas.....	10
Figura 4. Tipología 1 de vivienda: configuración conceptual base.....	11
Figura 5. Tipología 2 de vivienda: adecuación con espacio para regadera.....	12
Figura 6. Tipología 3 de vivienda: adecuación con espacio para cocina integrado en pieza unificada. .....	13
Figura 7. Tipología 4 de vivienda: separación de espacios en pieza unificada. ....	14
Figura 8. Tipología 5 de vivienda: pieza de cocina separa de pieza principal. ....	15
Figura 9. Vivienda con cubierta de lámina a dos aguas. ....	16
Figura 10. Ejemplo de estructura de madera para vivienda con cubierta a dos aguas. ....	16
Figura 11. Vivienda con cubierta de lámina a cuatro aguas. ....	17
Figura 12. Ejemplo de estructura de soporte para vivienda con cubierta a cuatro aguas. ....	17
Figura 13. Diagrama básico y ejemplo de vivienda con pasillo perimetral.....	18
Figura 14. Evidencia fotográfica del muestreo de suelos. ....	19
Figura 15. Detalles de los sistemas constructivos observados en las viviendas. ....	21
Figura 16. Evidencia de sillas y mesas empleadas en el taller para niños.....	23
Figura 17. Dimensiones y conectores del escenario para marionetas.....	24
Figura 18. Banners y lona empleados para el escenario de las marionetas. ....	24
Figura 19. Diagrama de flujo del desarrollo del taller “Rescatando el pasado para construir el futuro”.....	25
Figura 20. Evidencia de la entrega de regalos y refrigerio.....	26
Figura 21. Estructura molecular de la amilopectina (b) y antocianinas (b). ....	30
Figura 22. Resultados del esfuerzo a la compresión de las mezclas de tierra en bloques de tierra comprimida. ....	33
Figura 23. Resultados de la interacción con iones cloruro.....	34
Figura 24. Pruebas de resistencia contra hongos. ....	34
Figura 25. Sistema analítico para la obtención del modelo matemático que describe el comportamiento térmico de los materiales en las vivienda rural. ....	35
Figura 26. Muros modelo de vivienda de bahareque para estudio térmico. ....	36
Figura 27. Gradiente de temperatura interior y exterior en los muros de vivienda analizadas. ....	36
Figura 28. Detalles de los desprendimientos de material de enjarrado. ....	38

## Objetivo general del proyecto

Promover el acceso a la vivienda adecuada en zonas rurales de la Huasteca Tamaulipeca-Veracruzana creando cursos y talleres para la asimilación y transferencia tecnológica de materiales a base de tierra añadiendo extractos orgánicos que proporcionen actividad antimicrobiana y de remoción de iones en ambiente salino sin comprometer las propiedades estructurales de dichos materiales. En una primera etapa de la convocatoria mencionada, se pretende realizar un estudio preliminar de los materiales vernáculos existentes en las comunidades regionales para tecnificarlos en el desarrollo sustentable de la vivienda rural.

## Equipo de investigación e incidencia

El presente proyecto engloba la participación de diferentes grupos de investigación dedicados al desarrollo de diseño y edificación sustentable, mejora de la calidad del hábitat, estudio de la migración, el desarrollo regional y derechos humanos, aplicación de metodologías limpias para la obtención de nuevos materiales y el diseño y análisis mecánico-estructural y aplicación de fenómenos de transporte, con un aproximado de 35 investigadores involucrados en total, de los cuales se conforma el siguiente grupo de trabajo:

### Investigadores

Institución de procedencia	Nombre	Cuerpo académico o grupo de investigación	Reconocimiento a trayectoria
Universidad Autónoma de Tamaulipas (Institución proponente)	Josué Francisco Pérez Sánchez (Responsable técnico)	UAT-CA-183 ANÁLISIS Y DISEÑO MECÁNICO-ESTRUCTURAL GD	SNI-1
	Rocío Rafaela Gallegos Villela		Perfil PRODEP
	Edgardo Jonathan Suárez Domínguez		SNI-1
	Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez	UAT-CA-106 CALIDAD DEL HÁBITAT CAC	SNI-1
	María Teresa Sánchez Medrano	UAT-CA-075 DISEÑO Y EDIFICACION SUSTENTABLE CAEC	SNI-1
	Karla Lorena Andrade Rubio	UAT-CA-73 MIGRACIÓN, DESARROLLO Y DERECHOS HUMANOS CAC	SNI-3
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO	Silvia Beatriz Brachetti Sibaja	PROCESOS ELECTROQUÍMICOS
Ulises Paramo García		ITCMAD-CA-6 NUEVOS MATERIALES	SNI-1
Mildred Michelle Navarro Reyes		DESARROLLO DE BIOMATERIALES	NA
Jaime Eduardo Sosa Sevilla			NA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL – CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA	Diana Palma Ramírez	INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN MAS LIMPIA	SNI-1
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – INSTITUTO DE INGENIERÍA	Arturo Palacio Pérez	INGENIERÍA DE PROCESOS	SNI-1
	José Luis Fernández Zayas	INDUSTRIALES Y AMBIENTALES	SNI-2

## Comunidades, colectivos y/o grupos de la sociedad civil

- Red Mesoamérica PROTERRA
- Colegio de Arquitectos del Sur de Tamaulipas A.C.

## Instituciones públicas y autoridades

- Gobierno Municipal de Pueblo Viejo, Veracruz
- Gobierno Municipal de Tampico Alto, Veracruz

## Generalidades

La construcción con tierra es una técnica que está tomando relevancia debido a la búsqueda de la reducción de la huella antropogénica, cuyos efecto principal es la degradación del ambiente debido a la enorme cantidad de residuos generados por las diferentes actividades humanas, así como la reducción de los recursos por el consumo excesivo de estos. Este problema, además, está asociado a la gran brecha social en los núcleos poblacionales que genera desigualdad en la calidad de vida de las comunidades marginadas en comparación con aquellas comunidades urbanas (Cortés Lara, 2019; Hamard et al., 2016; Maskell et al., 2016). Dentro de los diferentes modelos de remediación y prevención de las problemáticas planteadas, el impulso de la construcción con tierra en las zonas rurales se presenta como una alternativa tangible que permite observar verdaderos cambios en la calidad de vida de los miembros en estas comunidades. Si bien, esta técnica fue desarrollada por nuestros antepasados, hoy en día se plantea la actualización tecnológica de la misma con el objetivo de que diferentes poblaciones la puedan emplear atendiendo la demanda poblacional y de desarrollo urbano (González, 2017; Martínez y Pedraza, 2018).

La población objetivo es entonces la población encontrada en la región Huasteca que abarca extensiones en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo y San Luis Potosí. En esta etapa se realizaron levantamientos en sitio de las comunidades de Mezquite Gordo en Pueblo Viejo, Veracruz y Estación Palachó, Estación Carbono, El Tular y Las Guayabas en Tampico Alto, Veracruz; donde se obtuvo información relevante como las características de la comunidad, tipos de vivienda y materiales vernáculos existentes en la zona y la actuación gubernamental en cuanto al acceso a la vivienda adecuada. El problema planteado es el énfasis inexistente en la funcionalidad de los materiales empleados en la construcción con tierra. En épocas de la pandemia generada por COVID-19, es importante asegurar el bienestar de las personas dentro de la vivienda a través de materiales tecnificados que permitan contrarrestar la aparición y/o proliferación de microbiota dañina para el ser humano derivado de la humedad y calor presentes en estas comunidades. Si bien, se han realizado estudios concernientes a enfermedades atribuidas a la zonas rurales y su estilo de vida como la enfermedad de Chagas y otras infecciones respiratorias (Medina et al., 2016, Rangel et al., 2016), no se han establecido estudios pertinentes a los materiales empleados en la construcción de viviendas cuando estos no corresponden a los modernos (concreto y acero). En este sentido, el presente reporte se divide en dos secciones: incidencia social y desarrollo tecnológico, en las que se engloban las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto en cumplimiento de los objetivos general y específicos.



## Actividades de incidencia social

Tampico Alto y Pueblo Viejo son municipios ubicados en el norte de Veracruz (Figura 1), en colindancia directa con la Zona Conurbada del sur de Tamaulipas (Tampico-Madero-Altamira). Tampico Alto cuenta con una población aproximada de 11,562 habitantes (Censo de Población y Vivienda 2020) con una densidad poblacional de 13.2 hab/km<sup>2</sup> (en una superficie de 874.8 km<sup>2</sup>). Las viviendas en este municipio contabilizan un total de 3,820; de las cuales el 3.9% aún tiene piso de tierra. Por su lado, Pueblo Viejo tiene una densidad poblacional de 200.6 hab/km<sup>2</sup> en una superficie de 288.7 km<sup>2</sup> para una población de 57,909 habitantes. Las viviendas son 16,522 para este municipio, de las cuales 5.2% tienen piso de tierra. Estas viviendas con piso de tierra se encuentran en localidades que se consideran rurales por los diferentes aspectos regionales que las caracterizan.

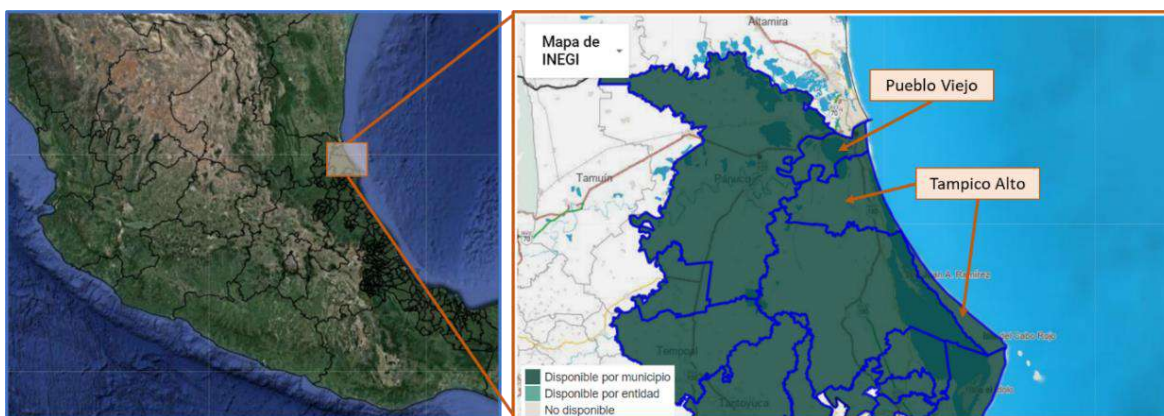


Figura 1. Localización de Pueblo Viejo y Tampico Alto en el estado de Veracruz Ignacio de la Llave.

En esta investigación de campo<sup>1</sup> se visitaron cinco comunidades: El Tular, Las Guayabas, Estación Palachó y Estación Carbono en Tampico Alto y Mezquite Gordo en Pueblo Viejo. Las cinco están identificadas como rurales por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y en el caso de Estación Palachó y Carbono, fueron originadas por asentamientos que seguían la ruta ferroviaria Pachuca – Tampico, que derivó de la ruta Tula de Allende – Pachuca; de allí la designación de Estaciones para estas localidades.

Aunque Mezquite Gordo no se encuentra sobre la antigua línea ferroviaria, es una comunidad que se orientó desde esta ubicación hacia el cuerpo de agua de la Laguna de Pueblo Viejo. En el caso de El Tular y Las Guayabas, son comunidades que se encuentran en la costa de Cabo Rojo en Tampico Alto, frente a las Islas Juan A. Ramírez, de Coyoles y el Frontón. En la Figura 2 se muestra la localización y cartografía de las comunidades Estación Palachó, Estación Carbono y Mezquite Gordo, mientras que en la Figura 3 se muestra la localización y Cartografía de las comunidades El Tular y Las Guayabas. Estas se seleccionaron para tener un referente de comunidades costeras y comunidades no costeras que son consideradas rurales y en las cuales se recolectó información del contexto social y demográfico, sobre todo poniendo especial atención en la perspectiva de vivienda

<sup>1</sup> Para información complementaria consultar el capítulo de libro “La tierra respira: I. Vivienda, comunidad y calidad de vida en el Norte de Veracruz.”

adecuada de las personas que las habitan. Las preguntas guía para las pláticas comunitarias fueron:

- ¿Cuántas personas conforman su familia y cuántos ocupan la vivienda? (Intervalos de edad, número de hombres y mujeres, quién es jefa/jefe de familia)
- ¿Hay miembros de su familia que han migrado a otra ciudad o país? (Desarrollar motivos dependiendo sí o no)
- ¿Cuál es el nivel de escolaridad de los miembros de su familia?
- ¿Cuál o cuáles son sus fuentes de ingreso?
- ¿Siempre han vivido aquí?
- ¿Cómo adquirieron la vivienda? (¿autoproducción?, ¿es posesionario o dueño?)
- ¿Dan mantenimiento a la vivienda? (Desarrollar dependiendo sí o no)
- ¿Han buscado o recibido apoyo del gobierno (federal/estatal/local) para tener una vivienda mejor?

Adicionalmente a estas preguntas, durante las pláticas con los habitantes, se recolectaron datos sobre otros problemas por los cuales atraviesa la comunidad. El foco de esta investigación fueron las viviendas construidas con tierra que aún prevalecen y que están habitadas. Para tener un mejor acercamiento y comprensión de la información presentada en el siguiente apartado, en la Tabla 1 se muestra la información contenida en el Censo de Población y Vivienda 2020 (Censo 2020, INEGI) y en el Inventario Nacional de Viviendas 2016 (INV 2016, INEGI).

*Tabla 1. Datos estadísticos de población y vivienda de las localidades.*

<b>Localidad</b>	<b>Población 2016</b>	<b>Población 2020</b>	<b>Viviendas 2016</b>	<b>Viviendas 2020</b>	<b>Actividad económica principal</b>	<b>Problema socioeconómico principal</b>
Mezquite Gordo	131	98	42	36	Cría y explotación de animales	Carencia de agua y mala calidad
Estación Palachó	188	161	66	70	Cría y explotación de animales	Carencia o mal estado de caminos
Estación Carbono	137	124	61	73	Cría y explotación de animales	Carencia o mal estado de caminos
El Tular	109	110	32	38	Pesca o caza de animales	Afectaciones por fenómenos naturales y plagas
Las Guayabas	24	26	8	11	Pesca o caza de animales	Afectaciones por fenómenos naturales y plagas

De los datos mostrados en la tabla anterior, se desprende un análisis sobre el estado de las viviendas en 2020 mostrado en la Tabla 2, donde se denotan los movimientos migratorios en estas comunidades. Esto también se refleja los índices de migración, que muestra las motivaciones de las personas para migrar a otras localidades, ciudades o

estados, lo cual impacta no solo el conteo de la población sino también el estado de las viviendas, es decir, si están habitadas siempre o temporalmente, si reciben mantenimiento, si son propias o los terrenos se encuentran en posesión.

*Tabla 2. Datos estadísticos de vivienda de las localidades en 2020.*

<b>Localidad</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Viviendas habitadas</b>	<b>Viviendas deshabitadas</b>	<b>Viviendas uso temporal</b>
Mezquite Gordo	36	30	5	1
Estación Palachó	70	52	8	10
Estación Carbono	73	46	21	6
El Tular	38	35	2	1
Las Guayabas	11	9	1	1

Las localidades, aunque declaradas zonas rurales, se encuentran amanzanadas; es decir, existe un ordenamiento registrado por INEGI que reconoce un ordenamiento territorial. Sin embargo, los ayuntamientos reportan que no existe a la fecha un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y en el caso de Pueblo Viejo, existe evidencia de un Plan Municipal de Desarrollo (PMD) en el cual se establecen ejes estratégicos sobre el desarrollo rural y urbano sostenible reconociendo que existe rezago económico por la falta de acciones en este rubro. Por lo anterior, la incidencia de este trabajo recae en la recapitulación de las necesidades de los habitantes y la forma en que las instituciones de educación superior pueden participar para generar oportunidades de desarrollo que permiten la reducción del rezago social y económico a través de investigaciones dirigidas desde la sostenibilidad y sustentabilidad.

Para dar vida a estas acciones, es de suma importancia destacar desde el origen las necesidades y problemáticas a las cuales se enfrentan las personas día con día. Con este objetivo, se analizaron algunos casos de estudio que dieron paso al trabajo colaborativo y comunitario que requieren atender los gobiernos municipales para activar los diversos programas estatales y federales encausados a promover el acceso justo al hábitat y a la vivienda adecuada, pues como es de hacerse evidente, estos términos no son considerados en los PMDs o POTs y por lo tanto, entran en competencia con otros aspectos sociales y económicos que buscan el desarrollo y la estabilidad de estas comunidades en crecimiento.

De forma general, la mayoría de las viviendas fueron construidas en un periodo mayor a cuarenta años, siendo las más jóvenes entre 6 y 15 años y las más antiguas de casi 100 años. La autoproducción es una actividad recurrente que pierde seguimiento en el ámbito del mantenimiento, que de forma específica se ve frenado por la falta de recursos y aquí se refrenda la necesidad de trabajar con los gobiernos municipales para la gestión de programas estatales y federales enfocados en la vivienda adecuada. En la mayoría de los casos, las viviendas son ocupadas por padres de familia cuyos hijos emigran a otras ciudades o localidades buscando oportunidades de trabajo o por cuestiones académicas o familiares. En las Figura 2 y 3 se muestra imagen general de las viviendas visitadas y a partir de las cuales se desarrollaron planos básicos de planta de las cinco principales tipologías de vivienda que se encontraron en las cinco comunidades abordadas en Pueblo Viejo y Tampico Alto, Veracruz.



Figura 2. Evidencias fotográficas de las visitas realizadas.



*Figura 3. Tipología de viviendas encontradas en las visitas realizadas.*

## Tipo I

Esta vivienda, podría denominarse la vivienda típica y de la cual se derivan el resto de las tipologías de vivienda. Esta configuración se distingue por su simpleza al tener una forma prácticamente rectangular. Lo que la caracteriza es la ubicación de puertas y ventanas una frente a otra, lo que permite que su orientación hacia los vientos dominantes genere una ventilación natural exitosa. Esta vivienda en particular no cuenta con divisiones internas para definir o separar dormitorio de cocina y comedor y puede entenderse como una pieza continua. Como en todos los casos estudiados a partir de este, el sanitario se encuentra fuera de la pieza principal, haciendo énfasis en que se trata de una letrina seca.

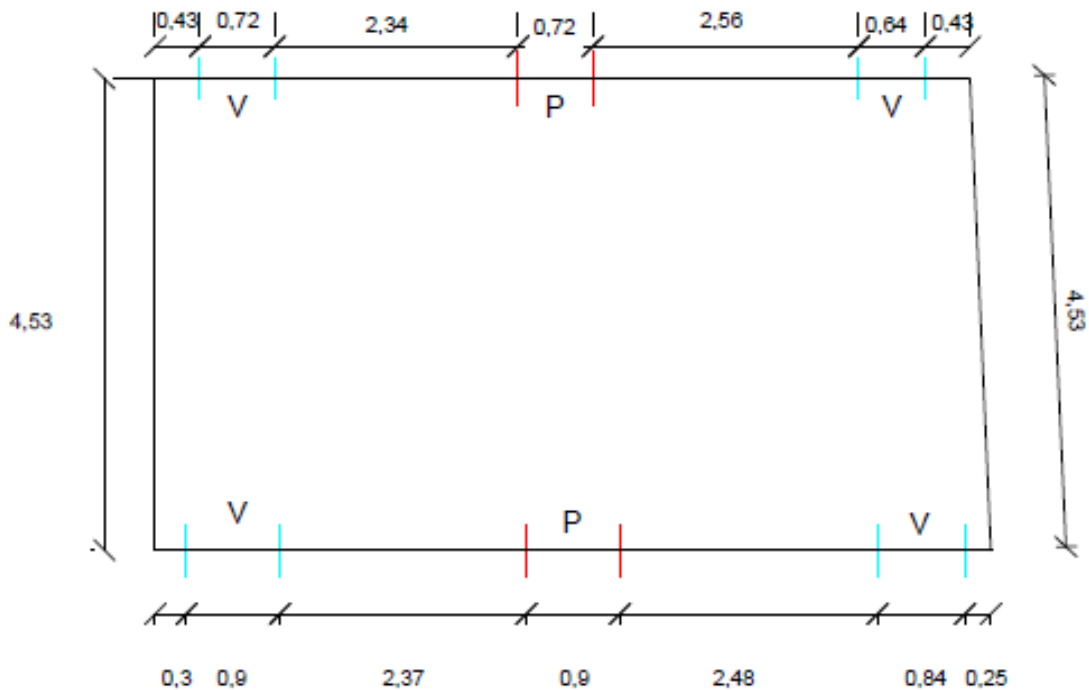


Figura 4. Tipología 1 de vivienda: configuración conceptual base.

## Tipo II

La figura muestra la segunda tipología observada. Esta es una derivación de la Tipología I, teniendo una adecuación para el espacio de regadera, que es el cubo de 1.7 por 1.65 metros observado en la planta básica. Este cubo funciona a su vez como un cubo de ventilación que permite la circulación de aire en el área de cocina. Esto es porque la pared de fondo no tiene ventanas ni puertas que cumplan esta función. Sin embargo, nuevamente la orientación de la vivienda con respecto a los vientos dominantes es lo que determina la posición sobre todo de las ventanas. Además, también hay influencia en la separación de los espacios al interior de la vivienda pues se mantiene el concepto de espacio continuo o unificado manteniendo la forma elemental rectangular que la Tipología I, además de mantener la cocina como parte de la pieza principal y el sanitario fuera de la vivienda.

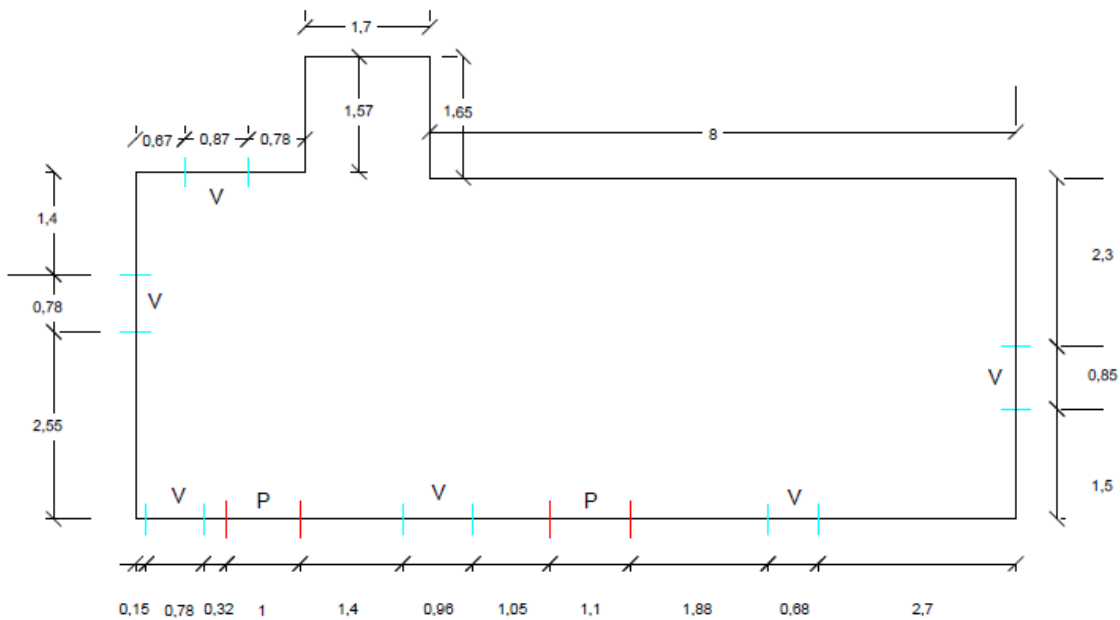


Figura 5. Tipología 2 de vivienda: adecuación con espacio para regadera.

### Tipo III

La Tipología III mostrada en la figura sigue manteniendo el concepto de pieza continua unificada con la cocina formando parte de la pieza principal. Sin embargo comienza a observarse una tendencia a la evolución de la vivienda en la que se dividen los espacios para identificar lo que corresponde a cada una de las áreas de vivienda. En este caso la cocina se encuentra en un espacio que se desprende de la que es entendida como pieza principal pero sigue siendo parte de la estructura como tal. Este espacio, si bien no se separa completamente de la pieza, esta configuración genera la percepción de que la cocina es un espacio separado de la vivienda. Nuevamente el sanitario se encuentra fuera de la pieza principal.

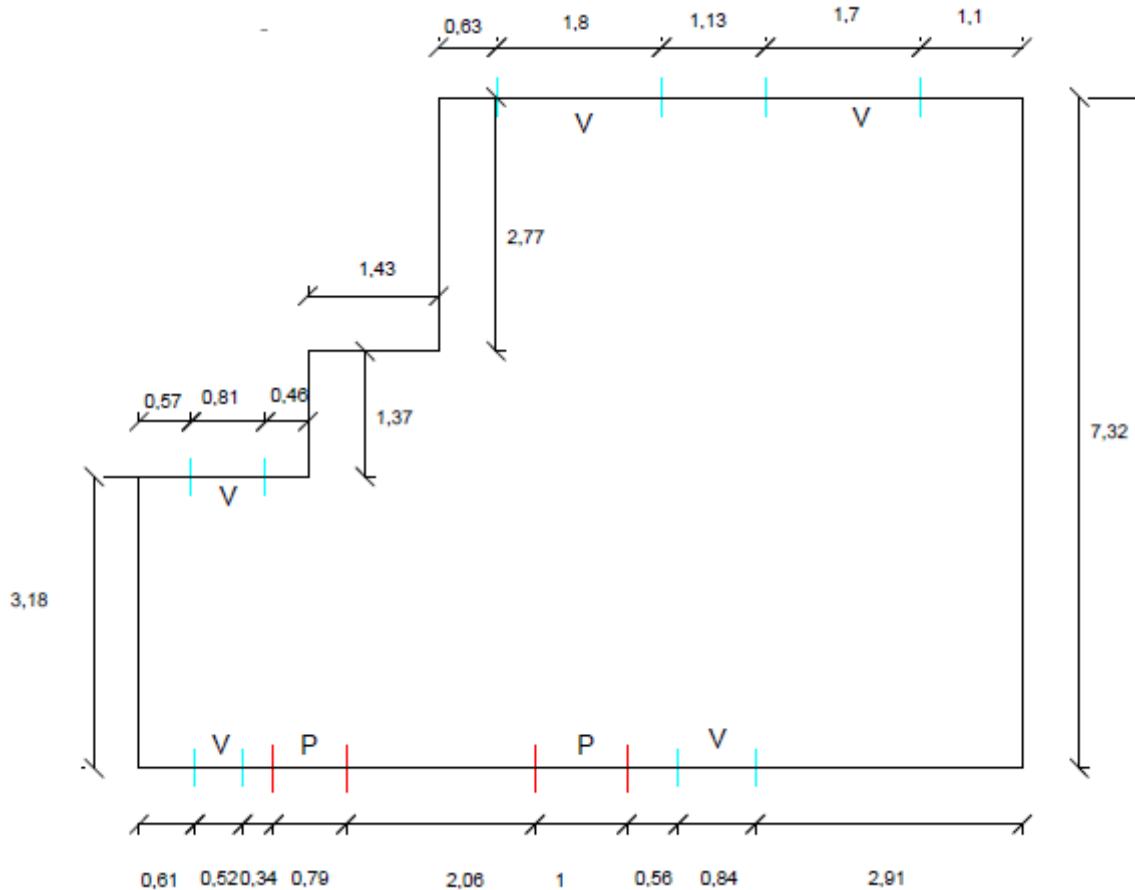


Figura 6. Tipología 3 de vivienda: adecuación con espacio para cocina integrado en pieza unificada.



## Tipo IV

La vivienda del Tipo IV ya introduce la separación de espacios con muros interiores construidos con la misma técnica de bahareque. Aquí, el conocimiento y experiencia del constructor se hacen más que evidentes, pues se entiende a la perfección el sistema constructivo y la forma en la que las uniones de muros deben realizarse para mantener estable la estructura. Esto se observa principalmente en el cruce central para las puertas como se muestra en la figura. Este tipo de vivienda se tiene de forma más común en Estación Palacho y se debe precisamente a la colaboración vecinal en la compartición del conocimiento y la forma en que se construyeron estas viviendas hace más de cuarenta años. Aquí ya se puntualiza la separación de las recámaras del área de cocina y comedor y de forma adicional se tiene en una de las recámaras una zona para regadera. La segunda habitación tiene una puerta de acceso para poder hacer uso de esta zona de regadera y esta segunda recámara tiene una puerta al patio para tener acceso a la letrina exterior. Se reconoce además que el área de cocina y comedor plantea el uso de ventilación cruzada con dos ventanas colocadas una frente a la otra, lo que permite que de forma natural se mantenga la frescura en esta zona durante el día y en este caso la tipología de techo que se analizará más adelante es lo que permite mantener la frescura de las recámaras. La pieza principal permanece unida pero heterogénea.

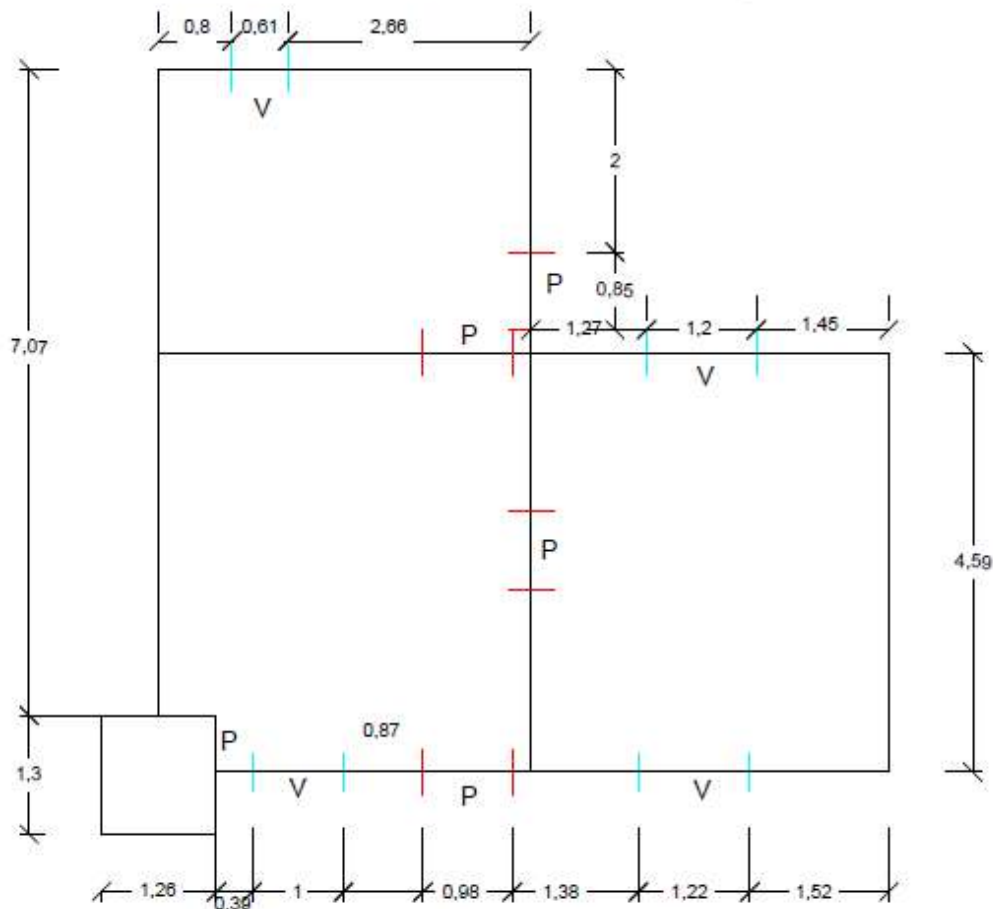


Figura 7. Tipología 4 de vivienda: separación de espacios en pieza unificada.

## Tipo V

La Tipología V de vivienda es una demostración de la tradición rural de nuestro país. Este tipo de vivienda hace evidente las costumbres hacendarias de la época de la Colonia y esto es de esperarse dado el origen de las personas que se asentaron en estas localidades, durante su vida trabajaron y conocieron el campo en haciendas y ranchos y al momento de independizarse y comenzar una vida nueva, las costumbres arraigadas no solo se notan en su forma y estilo de vida sino también en cómo ejecutan las acciones y planes para lograr sus objetivos y esto por supuesto se declara en la vivienda que construyen. La principal característica de esta tipología es la separación del área de cocina de la pieza principal. A diferencia de las tipologías 1 a 4, esta vivienda distribuye el espacio de forma que se aprovecha el terreno para dar cabida a un espacio único dedicado a la cocina. Puede observarse además que la pieza que resguarda la habitación mantiene la tipología uno intacta, de forma que prevalece la ubicación de las ventanas y puertas frente a frente para permitir la ventilación cruzada.

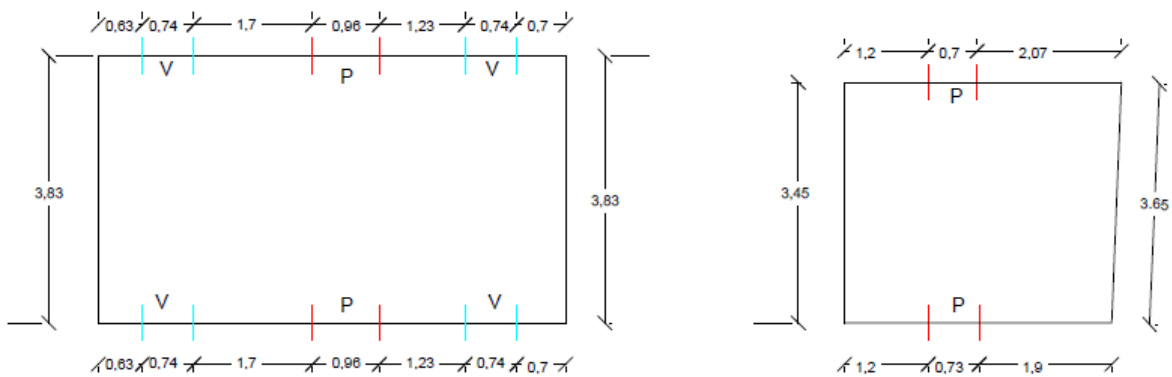


Figura 8. Tipología 5 de vivienda: pieza de cocina separa de pieza principal.

## Techos y cubiertas

Es importante reconocer que los habitantes de estas localidades aplican de forma adecuada en una constante transferencia de conocimiento de generación en generación, la concepción de los sistemas pasivos de cubierta para mejorar las condiciones de confort al interior de las viviendas. Aquí también se reconocen dos estilos predominantes. El primero es el de dos aguas que la mayoría de las personas aprovecha para recolectar agua de lluvia a través de sistemas de captación de tubería hacia tanques de resguardo (Figuras 9 y 10).

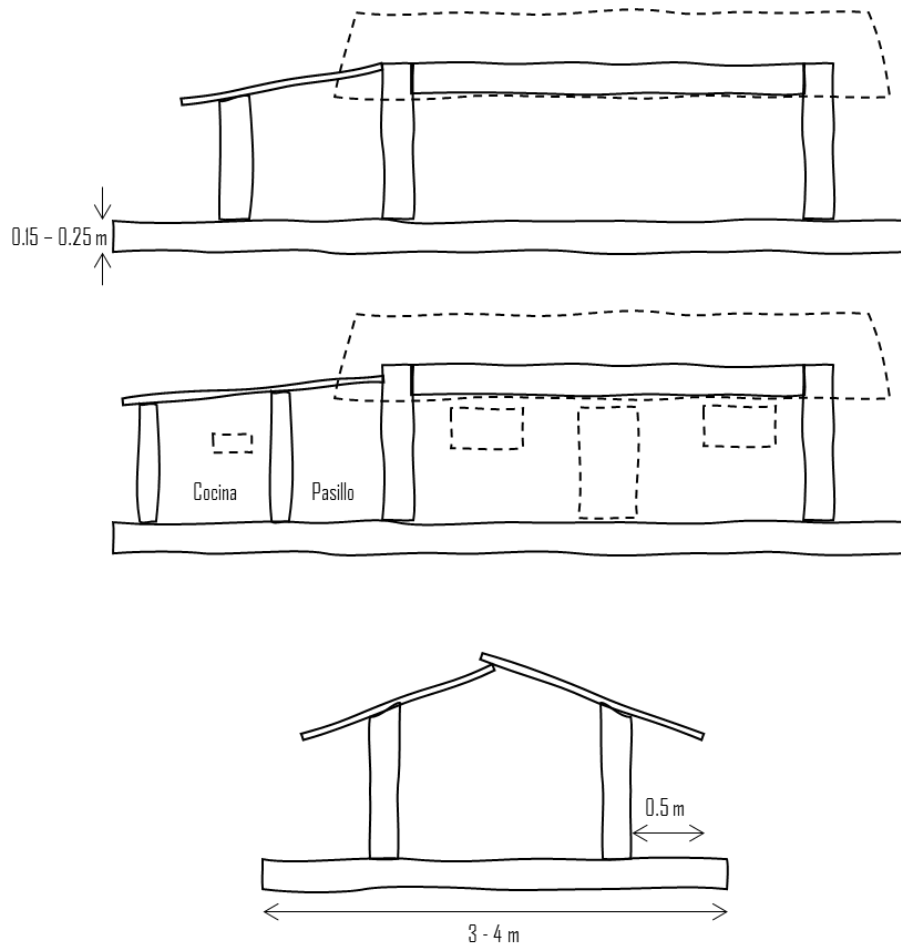


Figura 9. Vivienda con cubierta de lámina a dos aguas.



Figura 10. Ejemplo de estructura de madera para vivienda con cubierta a dos aguas.

El segundo tipo de techo es uno más elaborado que combina doble altura y cuatro aguas. Este tipo de cubierta permite una mayor pasividad en el enfriamiento de la lámina por contacto con el soplo del viento y contener el aire caliente en la zona superior teniendo salida a través de rejillas de ventilación (Figuras 11 y 12).

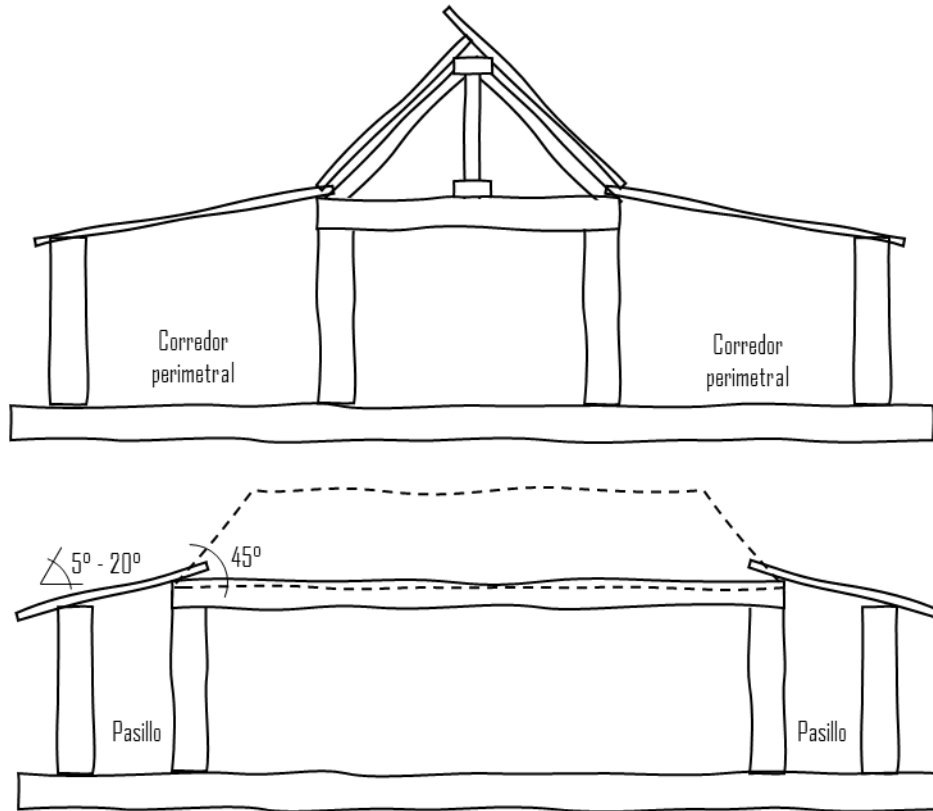


Figura 11. Vivienda con cubierta de lámina a cuatro aguas.



Figura 12. Ejemplo de estructura de soporte para vivienda con cubierta a cuatro aguas.

Los muros de bahareque y adobe tienen un bajo coeficiente de transmisión de calor (Molar-Orozco et al., 2020; Suarez-Dominguez et al., 2015), lo que permite aislar el interior de la vivienda del calor exterior. En combinación con la doble altura del techo, permite que el aire a menor temperatura se mantenga en la zona habitable, logrando un confort térmico para los usuarios. Además de esta característica, la mayoría de las viviendas cuenta con una pörtico o pasillo cubierto que rodea perimetralmente la pieza principal (Figura 13).



Figura 13. Diagrama básico y ejemplo de vivienda con pasillo perimetral.

Esto tiene dos objetivos, el primero es dar sombra a los muros para evitar el sobrecalentamiento durante el día y el segundo es proteger los muros en los días de lluvia. Cuando el enjarre tiene demasiada paja o fibra añadida o si no ha recibido un tratamiento al menos a base de cal, el deslavamiento con la lluvia produce el desprendimiento gradual del recubrimiento. Por este motivo es importante reconocer la funcionalidad de la cubierta y por ende el tipo de material que se puede emplear para este elemento constructivo. De forma general se selecciona la lámina galvanizada acanalada, ya que por su perfil acanalado permite recolectar agua de lluvia de forma eficiente, su espesor delgado permite que el enfriamiento por convección en contacto con las corrientes de viento sea más rápido, todo esto sumado a su bajo costo, facilidad de transporte y disponibilidad en las principales cabeceras municipales.

Es importante mencionar que la palma no es un material que las comunidades mencionaran se haya empleado en la producción de la vivienda o en mantenimientos, por lo que se puede considerar que es un material no disponible en la zona.

### **Materiales y técnicas**

El rezago de vivienda se concentra de manera proporcional en mayor medida en las zonas rurales del país, con 78.3% de las viviendas, en contraste con una incidencia del 35.4% en zonas urbanas (CONEVAL, 2018). La identidad de la vivienda rural ha sido absorbida en diferentes niveles por la influencia de la construcción industrializada. Esto conlleva un costo elevado en la producción de viviendas bajo los términos y tecnologías actuales. La región Huasteca está catalogada por el INEGI con un alto grado de rezago social (INEGI, 2016) y sus habitantes se encuentran sesgados al momento de aplicar las políticas públicas referentes a la vivienda adecuada. Las viviendas de los distintos grupos étnicos en la Huasteca son consideradas precarias y un símbolo de atraso para las nuevas generaciones que son motivadas a migrar en busca de nuevas formas de progreso y modernidad, añadiendo o substituyendo materiales industrializados para las nuevas tipologías de vivienda (Lara, 2014; Roux-Gutiérrez, 2019). Aquí es donde los objetivos del desarrollo sostenible juegan su papel más importante, pues esta es una enorme ventana de oportunidad para lograr el desarrollo de materiales sustentables dirigidos a la vivienda como un paradigma en las políticas sostenibles, ambientales y de desarrollo urbano que aseguren el acceso justo a la vivienda.

Mientras más y mejores características y propiedades tengan los materiales basados en tierra para la producción y gestión de vivienda adecuada y del habitar sustentable, será posible abrir el panorama de las políticas e instrumentos de desarrollo urbano y ordenamiento territorial para el acceso justo al hábitat generando los respectivos cambios institucionales que facilitarían el desarrollo de una vivienda adecuada integral y un acceso justo al hábitat para las poblaciones vulnerables.

Se recorrieron las cuatro zonas localizadas en Tampico Alto y una en Pueblo Viejo, Veracruz y en estos recorridos se muestrearon zonas de lo que los habitantes llaman tierra amarilla y se realizaron estudios de granulometría y plasticidad para determinar la capacidad de este tipo de suelo y entender cómo se pueden mejorar las mezclas de tierra para continuar su uso en autoproducción y mantenimiento de las viviendas en las localidades. La Figura 14 muestra imágenes de los muestreos realizados en compañía de los usuarios de vivienda.



*Figura 14. Evidencia fotográfica del muestreo de suelos.*

Los suelos muestreados fueron analizados en cuanto a su granulometría y límites de plasticidad. Estos parámetros son importantes de conocer en los suelos dado que son las propiedades que permiten determinar si un suelo puede usarse o no como un material constructivo. La granulometría es un parámetro que ayuda a determinar el tamaño de partícula o de grano de un agregado fino o grueso y dependiendo de este tamaño, será la capacidad del suelo para tener cohesión mayor o menor entre dichas partículas y el acomodo y tamaño de la red porosa (González-López et al., 2018; Pele-Peltier et al., 2022). El índice de plasticidad por su parte en realidad se refiere a los conocidos límites de

Atterberg que determinan la cantidad de agua que requiere un suelo para poder alcanzar una manejabilidad adecuada. Si hay demasiada agua la mezcla será muy blanda y si hay poca agua la mezcla será quebradiza. Por lo tanto el índice de plasticidad determina el porcentaje de agua en masa que requiere el suelo para poder ser empleado en el área de la construcción (O'Kelly, 2021).

La forma de la vivienda obedece en todos los casos a lo siguiente:

- a) Estructura: Compuesta por materiales vernáculos. Se encuentra constituido por una cimentación a base de piedra y argamasa con una subestructura constituida completamente con madera. Los elementos verticales se constituyen por polines de 4 pulgadas por 4 pulgadas o maderos de 3 a 11 pulgadas que se unen con elementos horizontales por clavos o amarres de alambre o alambrón rigidizando un marco que traslada el peso de la estructura al suelo.
- b) Viviendas con tapa inclinada a una o dos aguas con cambios de pendiente.
- c) Muros divisorios y ausencia de muros de carga.

Se detectó que los principales materiales utilizados son:

- a) Suelo
- b) Madera
- c) Lámina de cartón o zinc como cubierta

Se detectaron principalmente dos técnicas en muros de las viviendas vernáculos:

- a) Bahareque
- b) Embarrado en Madera

Las técnicas constructivas se mostraron de alto interés principalmente por estos mismos materiales. Dentro de las encuestas realizadas en el proyecto se mencionó que las cubiertas o techos fueron colocadas hace más de 40 años, que es la edad promedio de las viviendas de tierra en estas localidades y que siempre han correspondido a lámina inicialmente de cartón que eventualmente evolucionó a lámina de acero galvanizado. Se encontraron viviendas que de acuerdo con la tradición oral de la zona, se mencionan con más de 100 años de creación, en donde se ha dado eventualmente mantenimiento y sustitución parcial de los componentes. En la zona también fue común encontrar la técnica de embarrado sobre muros de madera en donde se encontraron muros de vivienda con madera y corteza sin tratar. La Figura 15 muestra algunos detalles de los sistemas constructivos encontrados en la región estudiada.

En la siguiente liga se podrán consultar todas las fotografías y videos de las visitas del trabajo de campo:

[https://alumnosuatu-edu-my.sharepoint.com/:f/g/personal/josue\\_perez\\_uat\\_edu\\_mx/EuLaiVFF-FMo1aq3lxZMZoBGBiRafmz62\\_quOBmn531sQ?e=MtdmdP](https://alumnosuatu-edu-my.sharepoint.com/:f/g/personal/josue_perez_uat_edu_mx/EuLaiVFF-FMo1aq3lxZMZoBGBiRafmz62_quOBmn531sQ?e=MtdmdP)



*Figura 15. Detalles de los sistemas constructivos observados en las viviendas.*



Como se mencionó, los materiales empleados mayormente son suelo y madera. El suelo empelado en estas comunidades es denominado por los locales como tierra amarilla. Las muestras recolectadas presentan características muy parecidas, como puede observarse en la Tabla 3. La característica principal a vigilar el índice de plasticidad, pues este es un referente a la capacidad de moldeo de las arcillas y suelos en general; de forma que si una arcilla tiene baja plasticidad presentará menos problemas de agrietamiento al momento de aplicar cargas externas. Sin embargo, una muy baja plasticidad podría significar una mala cohesión de las partículas y la falta de efectividad para formar un pasta moldeable. Por esta razón es común emplear materiales puzolánicos (que reaccionan con hidróxidos) como la cal, para estabilizar esta cohesión y favorecer las propiedades mecánicas de la mezcla obtenida (Ghanizadeh et al., 2020; MolaAbasi et al., 2022). En la tabla, SUCS se refiere al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, en la cual CL significa “Arcilla de Baja Plasticidad”.

*Tabla 3. Resultados del análisis de los suelos tipo tierra amarilla en el Norte de Veracruz.*

<b>Parámetro</b>	<b>Tampico Alto Costa</b>	<b>Tampico Alto Centro</b>	<b>Pueblo Viejo Centro</b>
Peso volumétrico seco (kg/m <sup>3</sup> )	1748	1740	1700
Contenido óptimo de agua (%)	14.5	14.6	15.1
Granulometría			
Malla No. 4 (%)	100	100	100
Malla No. 40 (%)	93.2	90.4	89.6
Malla No. 200 (%)	26.4	31.6	30.4
Límite líquido (%)	22.0	23.0	20.7
Límite plástico (%)	13.0	13.4	13.1
Índice plástico (%)	9.0	9.6	9.4
Clasificación SUCS	CL	CL	CL

Conocer las propiedades de los materiales regionales permite tener información que se puede traducir en desarrollos tecnológicos que busquen evaluar su mejoramiento y funcionalización, como se verá en el siguiente apartado. Además de lo anterior, esto también permite establecer criterios de participación social enfocados en el acercamiento de las poblaciones jóvenes a las técnicas tradicionales. Esto es un nicho de oportunidad para guiar a las comunidades a la autoproducción asistida de vivienda empleando los materiales con los que disponen en su localidad.

Con este fin, parte de las acciones de incidencia social se enfocaron en desarrollar un taller para niños basado en las técnicas de construcción con tierra. El taller lleva por nombre “Rescatando el pasado para construir el futuro” y el piloto se llevó a cabo en el municipio de Tampico Alto, Veracruz, con niños de las comunidades rurales aledañas a la cabecera municipal. El intervalo de edades fue de 8 a 11 años y las técnicas trabajadas fueron adobe, bloque de tierra comprimida y bahareque. Para este taller se desarrolló el guion técnico como parte de los productos de difusión que se incorporan al Ecosistema Nacional de Información sobre Vivienda y Hábitat Sustentable. A continuación se describe de forma breve el desarrollo del taller, para información complementaria se debe consultar el Guion Técnico anexo.

## Taller “Rescatando el pasado para construir el futuro”



Las actividades prácticas del taller mencionadas en el párrafo anterior se conjuntan con la proyección de videos sobre la vivienda de tierra y sobre el bambú como material constructivo. Estos videos los presentaron dos personajes llamados Panchita y Bambú, marionetas creadas en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por lo que se requerirá un escenario para marionetas y dispositivos adecuados de audio y video para el tamaño de la audiencia. Lo descrito en este documento, está calculado para una audiencia de cuarenta niños acompañados de sus padres.

### Infraestructura

- *Sillas y mesas.* Se deberán tener al menos veinte sillas para niños y cuarenta sillas para adultos. Si se cuenta con ellas, se podrán tener mesas para niños. Las mesas adicionales preferentemente de plástico con dimensiones 75x80x180 cm.



Figura 16. Evidencia de sillas y mesas empleadas en el taller para niños.

- *Escenario para marionetas.* Las dimensiones recomendadas son de 2 m largo, 1.5 m de alto y al menos 1 m de ancho. Esto permitirá la colocación de bancos al interior y la movilidad de los marionetistas. La estructura se recomienda que sea de tubería de PVC con conectores tipo T y codos de 3 vías. La cubierta deberá ser preferentemente de tela negra u oscura de forma que no se logre visualizar el interior del escenario. Se puede colocar una lona por delante para evitar lo anterior si es que la tela empleada no cumple su cometido. El escenario puede ir acompañado de lonas tipo banner con las imágenes de presentación de las marionetas. En el Guion Técnico se encuentran los archivos de la lonas publicitarias

para el caso de las marionetas que participan. Estas pueden variar si se emplean personaje diferentes y por lo tanto quedan planteadas como guía. El nombre y logotipo del taller no pueden modificarse.

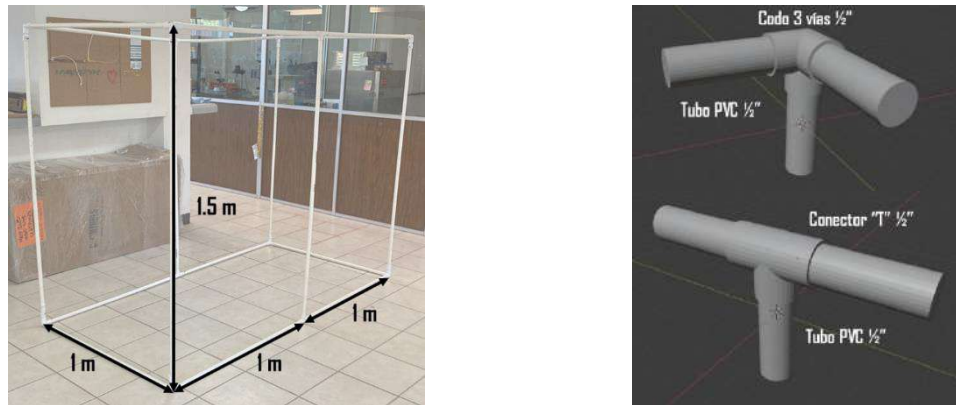


Figura 17. Dimensiones y conectores del escenario para marionetas.



Figura 18. Banners y lona empleados para el escenario de las marionetas.

- **Equipo de audio y video.** Para la transmisión de video es necesario tener un proyector o pantalla adecuado, dependiendo si el taller se realizará en un lugar cerrado o en al aire libre, debido a la iluminación local. Si se realiza en interiores, puede considerarse un lugar que permita apagar y encender la iluminación artificial al momento de la proyección. Si se realiza al aire libre debe considerarse una pantalla de paneles LED. El audio debe tener al menos tres micrófonos inalámbricos disponibles que permitan la movilidad entre el escenario y la zona del taller.
- **Distribución del espacio.** Se requieren al menos tres zonas, una para el montaje de audio, video y escenario para marionetas, la segunda para el montaje de sillas y mesas y la tercera para el montaje de equipos y materiales para el desarrollo del taller. Esta tercera área debe permitir el uso del piso para las mezclas de tierra o bien se debe tener una charola o lona en caso de que el piso tenga un recubrimiento que se pueda dañar o ensuciar y sea difícil limpiarlo.

## Programa general

A continuación se detalla en un diagrama de flujo el desarrollo del taller. La estructura indica la división de equipos, la cantidad de elementos en cada equipo así como la cantidad de estos dependerá del total de asistentes. Para la prueba piloto se tuvieron cuatro equipos de diez niños cada uno. El tiempo de cada actividad también dependerá del número de equipos.

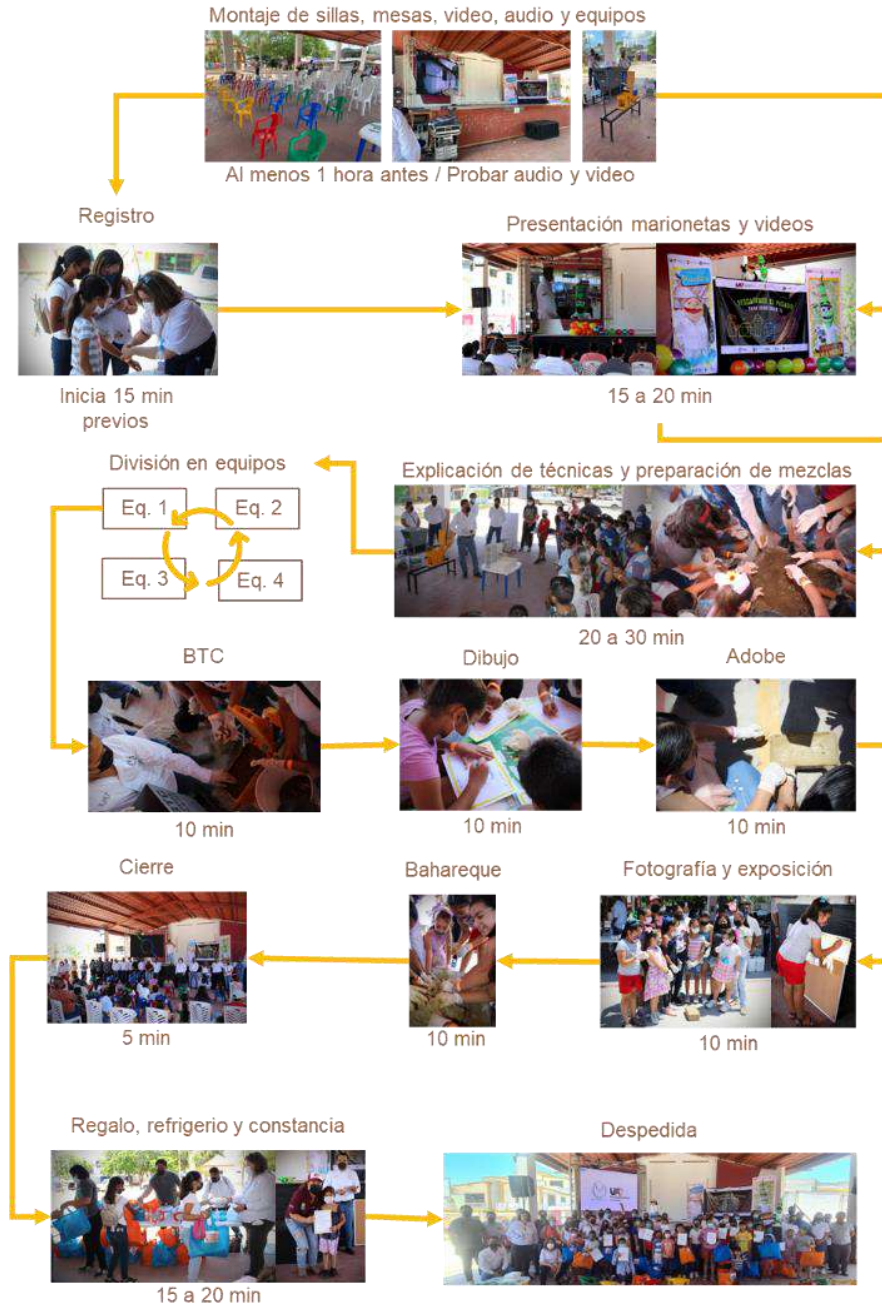


Figura 19. Diagrama de flujo del desarrollo del taller "Rescatando el pasado para construir el futuro".

Los regalos y refrigerio que se dieron en esta sesión piloto fueron los siguiente: 1 cuaderno profesional 100 hojas cuadro grande, 1 cuaderno profesional 100 hojas raya, 1 paquete de 3 plumas y 1 lápiz, bolsita de dulces y 1 pelota de hule. El refrigerio constó de 1 hamburguesa con ensalada y papas fritas, además de un jugo.



Figura 20. Evidencia de la entrega de regalos y refrigerio.

## Guion de presentación con marionetas y videos.

**Presentador** - ¡Hola a todos! ¿Cómo están? (*espera repuesta de la audiencia*) ¡Más fuerte! (*espera repuesta de la audiencia*) ¡Otra vez! (*espera repuesta de la audiencia*) ¡Muy bien! Me da mucho gusto saludarlos y darles la bienvenida a este taller que se llama “Rescatando el pasado para construir el futuro” y para ayudarnos a explicar de que se trata tenemos a una invitada muy especial... así que vamos a poner mucha atención y les presento a ¡Panchita! Vamos a darle un fuerte aplauso...

- **Comienza música de presentación (staff aplaude al ritmo de la música)** -

- **Canción recomendada: versión corta de Happy de Pharrel Williams** -

- **Descargable en:** <https://youtu.be/NHGMy662U00> -

**Panchita** - ¡Hola! ¡Hola! ¡Yo soy Panchita! Y hoy estoy aquí porque vine a jugar y a divertirme con ustedes. Quiero contarles que un día mi maestra me encargó una tarea muy difícil y no sabía cómo hacerla, pero los investigadores de la Facultad de Arquitectura me ayudaron a hacerla y ¿adivinen qué? ¡saque 10! Y eso me puso muy feliz. Y ahora todos ellos vienen aquí a Tampico Alto para contarnos como es que nuestros antepasados... nuestros bisabuelos y tatarabuelos, construían sus casas. Así que vamos a ver un video para saber cómo lo hacían. ¡Pongan el video por favor!

- **Comienza video “Casas de tierra alrededor del mundo”** -

- **Video disponible en:** <https://youtu.be/SfEnVj7i0X8> -

- **Versión corta en:** [https://alumnosuitedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josue\\_perez\\_uat\\_edu\\_mx/EQ4hDkuLflPduh8kYKl6eSSBv7NbTzIWajez8FxmAJokg?e=990nu3](https://alumnosuitedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josue_perez_uat_edu_mx/EQ4hDkuLflPduh8kYKl6eSSBv7NbTzIWajez8FxmAJokg?e=990nu3) -

**Panchita** - ¡Woooooow! ¿Qué tal? Yo creo que muchos de ustedes han visto una casa de tierra ¿alguien vive en una casa de tierra? (*espera repuesta de la audiencia*) ¿Pues qué creen? Construir con tierra es una forma de ayudar a nuestro planeta a tener menos contaminación. Muchas veces usamos cemento y acero para construir, pero ¡fúchila! ¡huácala! ¡Eso contamina mucho! ¿Pero qué creen? Hay materiales en la naturaleza que nos ayudan a tener casas muy bonitas y resistentes y hoy invité a mi mejor amigo para que nos platique sobre uno de los materiales más usados aquí en la Huasteca... así que ahora les presento a ¡Bambú!

- **Bambú no sale** -

**Panchita** - ¡Aaaaay! Creo que está un poco nervioso, vamos a llamarlo juntos, griten conmigo ¡Baaaambuuuú! ¡Baaaambuuuú!

- **Bambú no sale** -

**Panchita** - ¡Aaaaay Caracas! Yo creo que está dormido, vamos a ponerle música para que despierte, si no le vamos a hablar a su mamá la Doctora Tere para que lo vaya a despertar.

- **Comienza música de presentación (staff aplaude al ritmo de la música) –**

**Bambú** - ¡Aaaquí estoóoooy! ¡Hola Panchita! ¡Hola!

**Panchita** – ¡Hola Bambú! ¿Por qué no venías? ¿Otra vez te dormiste?

**Bambú** - ¡Noooooo! Solo estaba tomando un poquito de agua, porque ya necesitaba para crecer más y estar sano y fuerte

**Panchita** - ¡Aaah bueno! Oye Bambú, te quiero presentar a mis amigos de Tampico Alto, para que les platiques cómo se pueden construir casas con materiales sustentables

**Bambú** - ¡Hola a todos! ¡Hola! ¡Claro que sí, con mucho gusto! Primero les quiero decir que yo soy una planta, por si no lo habían notado jejeje pero aunque soy una planta tengo muchas propiedades y muy buenas que los investigadores han estudiado para construir casas ¡no solo sirvo para que me coman los pandas! Pero para explicarles un poco mejor les traje un video que hice para el día del Investigador de la universidad con la prima de Panchita... que también se llama Panchita

**Panchita** - ¡Queeeeeeeé! ¿Invitaste a Panchita y a mí no? (hace gestos y ruidos de llanto)

**Bambú** - ¡Perdón Panchita! Se me confundieron los mensajes de Whatsapp, una Panchita aquí, otra Panchita allá.. pero tú eres mi Panchita favorita

**Panchita** - ¡Ah bueno! Está bien... te quiero mucho Bambú

**Bambú** – Y yo a ti Panchita (se abrazan)... Bueno, vamos a ver el video... ¡corre video!

- **Comienza video “Bambú” –**

- **Video disponible en:** <https://youtu.be/Kh8m2js8oHo> -

- **Versión corta en:** [https://alumnosuatedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josue\\_perez\\_uat\\_edu\\_mx/EVB9dKHSWPdCpnH7yV-sXJIBZSuDZWRb881OmJS8TwzU6Q?e=NT27Fg](https://alumnosuatedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josue_perez_uat_edu_mx/EVB9dKHSWPdCpnH7yV-sXJIBZSuDZWRb881OmJS8TwzU6Q?e=NT27Fg) -

**Panchita** - ¡Wooooow! Que interesante Bambú

**Bambú** – Así es Panchita y así como yo hay muchos otros materiales orgánicos que se pueden usar para construir... peeeeero, no es tan sencillo como parece y para aprender cómo se hace, todos nuestros amiguitos ahora van a ensuciarse las manos y a construir con tierra ¡siiiiiiiiiiiiiiiiii!

**Panchita** - ¡Espera, tranquilo Bambú! Si se pueden ensuciar pero mejor que lo hagan con cuidado. Por eso los dejamos en las manos expertas de los investigadores de la *Universidad Autónoma de Tamaulipas, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y la Universidad Nacional Autónoma de México*<sup>2</sup> para realizar el taller (juntos) ¡Rescatando el pasado para construir el futuro!

---

<sup>2</sup> Se debe cambiar por las instituciones presentes en la sesión y que replican el taller

- Comienza música de salida -

**Presentador** - ¡Muy bien! Vamos a despedir a Panchita y Bambú con un fuerte aplauso y a continuación iremos a la sección de trabajo con tierra donde nos explicarán las técnicas que aprenderemos y pondremos en práctica el aprendizaje. ¡Adelante!



Liga para consultar todas las fotografías y videos:

[https://alumnosuademy.sharepoint.com/:f/g/personal/josue\\_perez\\_uat\\_edu\\_mx/EjA8mJSw-61BpAx6kpHrIGUBFpmcsPLNMni4kqc7mmkZvQ?e=m0xeq1](https://alumnosuademy.sharepoint.com/:f/g/personal/josue_perez_uat_edu_mx/EjA8mJSw-61BpAx6kpHrIGUBFpmcsPLNMni4kqc7mmkZvQ?e=m0xeq1)

Liga de la publicación del evento por el Municipio en su página de Facebook

<https://web.facebook.com/GobiernoTampicoAlto/posts/pfbid02SGtMhUeyHBxAARt6rrLTNfjX1hggWMBEDFzUyY3bib42MFAm3ygKjgh3jx4xH8r1I>

Liga de la publicación del evento en la web oficial de la FADU UAT

<http://www.fadu.com.mx/web/noticias.php?id=1075&ano=2022&fecha=06>



## Actividades de desarrollo tecnológico.

A partir de la información recabada en las visitas y muestreos de suelos, se desarrollaron mezclas prototipo adicionadas con mucílago de nopal y extracto de rábano rojo para determinar el efecto de estos extractos en las propiedades antimicrobianas y de interacción con iones cloruro, además de verificar sus propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia a la compresión<sup>3</sup>. En los casos visitados cercanos a la costa se detectaron florescencias de algunos materiales y la presencia de humedad. Como se ha descrito a lo largo de este documento, los diseños arquitectónicos y técnicas constructivas deben considerar todas las variables y en dependencia del contexto ambiental, deberán *tropicalizarse*. Por este motivo, las actividades de desarrollo tecnológico se centran en generar materiales funcionalizados con respecto a los problemas de confort y de compatibilidad con otros materiales que pueden sufrir daños debido al ataque iónico en ambientes costeros salinos.

El mucílago de nopal es biopolímero (polisacárido fibroso) que se encuentra en las pencas o cladodios de la planta, estas poseen en su interior una sustancia en forma de pulpa (gel), el cual tiene la capacidad de retener el agua. El polisacárido es una sustancia pegajosa y por lo tanto poco manejable, cada molécula puede contener amilopectina, como su elemento principal (Figura 21a) y más de 30,000 subunidades de azúcares. Los azúcares más abundantes tienen cinco o seis átomos de carbono y sus derivados difieren mucho en el cactus y no muestran ningún orden sistemático de composición (Aranda-Jimenez y Suarez-Dominguez, 2020; Torres-Ponce et al., 2015).

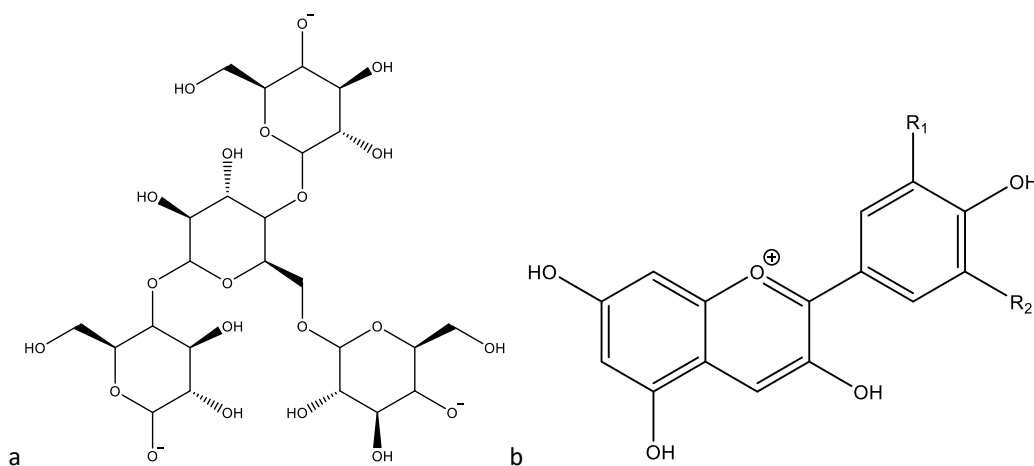


Figura 21. Estructura molecular de la amilopectina (a) y antocianinas (b).

Por su parte, el rábano rojo tiene compuestos bioactivos únicos que se han reconocido por tener beneficios para la salud. Son bajos en grasas saturadas y colesterol. El extracto de rábano estimula la movilidad del sistema digestivo (gastrointestinal) debido a la activación de las vías muscarínicas y además su uso ha sido documentado como un absorbente y también como agente antibacteriano con un amplio efecto antioxidante. Uno de los compuestos presentes en el rábano es el grupo de las antocianinas, que son las más

<sup>3</sup> Para información complementaria consultar el capítulo de libro “La tierra respira: II. Materiales sustentables y calidad del hábitat en viviendas de tierra.”

importantes de los pigmentos naturales solubles en agua distribuidos en el reino vegetal. Las antocianinas (Figura 21b) están constituidas por una molécula de antocianidina, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico y en algún caso por un enlace  $\alpha$ -glicosídico. Cada una de ellas exhibe una estabilidad específica, por diferentes factores en su estructura química, ingredientes incorporados o el proceso de transformación (Karak, 2019). El trabajo de extracción orgánica se realizó en el Centro de Investigación en Petroquímica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, en Altamira, Tam.

Las antocianinas dan un color naranja rojizo a las frutas y vegetales y esto se debe a que los sustituyentes  $R_1$  y  $R_2$  como se ve en la figura, pueden ser hidrógeno (-H), hidroxilo (-OH) o metoxilo (-OCH<sub>3</sub>). De todas las combinaciones posibles es de donde surgen estos colores característicos. Sin embargo, este trabajo se centrará en el radical O<sup>+</sup> que tiene la capacidad de interactuar con iones como el cloruro (Cl<sup>-</sup>) que es el ion presente en las mezclas salinas y por lo tanto puede ser retenido en el material. Para esta investigación se obtuvieron los extractos como se describe a continuación:

- Para extraer el mucílago de nopal se utilizó 1 kg de cladodios, es decir la penca libre de espinas, que se trozaron en partes pequeñas y se colocaron en un recipiente de aluminio. Se añadió agua para obtener una mezcla con una relación agua-material crudo en peso de 2:1. La temperatura de trabajo fue de  $60 \pm 5$  °C durante un período de 3 h con agitación manual aproximadamente cada 10 min. Después se filtraron las partículas gruesas usando un tamiz No. 100 (150  $\mu$ m) y se mantuvo en refrigeración hasta su uso (León-Martínez et al., 2014).
- Para obtener el extracto de rábano se mezclaron 421 g de piel de rábano con 1684 mL de una mezcla acidificada (HCl al 1% v/v, puede ser ácido muriático que se emplea para limpieza) de agua-etanol (50/50 % v/v, el etanol puede conseguirse en farmacias) como medio de extracción. La mezcla se trituró utilizando una licuadora por 2 min y después se filtró para eliminar las partículas fibrosas. El producto de la extracción se sometió a un proceso de sedimentación por 24 h para eliminar partículas suspendidas y se dejó reposar por 24 h en refrigeración para preservar sus propiedades (Chayavanich et al., 2020).

Una vez que se caracterizaron los suelos y se obtuvieron los extractos, se realizaron mezclas de tierra con cal como estabilizante del material orgánico, tal como se indica en la Tabla 4. Para este trabajo se emplearon los suelos arcillosos muestreados en las localidades y suelo limoso como material reforzante proveniente del banco Medrano en Altamira, Tam. A partir de estas mezclas se produjeron bloques de tierra comprimida con el objetivo de determinar sus propiedades mecánicas, específicamente la resistencia a la compresión. La prueba de resistencia a la compresión se realizó en una máquina universal marca Controls modelo Automax Multitest en el Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Adicionalmente a las pruebas mecánicas, se realizaron pruebas de interacción de los materiales con el ion cloruro en ambiente salino, así como pruebas de resistencia al crecimiento de hongos en condiciones controladas.

Tabla 4. Proporciones en %peso de los componentes de las mezclas.

Mezcla	Arcilla (A)	Limoso (L)	Cal (C)	Mucílago (M)	Rábano (R)
Blanco ALC	70.0	20.0	10.0	0.0	0.0
ALCM5%	67.5	17.5	10.0	5.0	0.0
ALCM10%	65.0	15.0	10.0	10.0	0.0
ALCM15%	60.0	15.0	10.0	15.0	0.0
ALCMR5%	67.5	17.5	10.0	2.5	2.5
ALCMR10%	65.0	15.0	10.0	5.0	5.0
ALCMR15%	62.5	12.5	10.0	7.5	7.5

El seguimiento a la interacción de iones cloruro se realizó por el método de Mohr, aplicando las indicaciones de la norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba. La prueba se realizó con una disolución acuosa al 0.0014 N de NaCl. Así mismo, con las mezclas de tierra se diseñaron núcleos que se sumergieron en 100 mL de la muestra acuosa de NaCl y se mantuvieron en reposo. La prueba consistió en tomar una alícuota de 10 mL cada 20 minutos. La alícuota se completó con agua para obtener un volumen de 100 mL y se adicionó con 1 mL de disolución indicadora de cromato de potasio ( $K_2CrO_4$  0.014 N). La titulación se realizó con nitrato de plata ( $AgNO_3$  0.014 N) hasta lograr el vire de color de amarillo paja a naranja ladrillo.

Para el análisis de resistencia al crecimiento de hongos se empleó el método de cultivo vertido en placa utilizando agar dextrosa-papa como fuente de nutrientes de los microorganismos. Todos los materiales empleados previamente fueron esterilizados mediante vía seca a 150 °C durante 2 horas. En todos los casos, se obtuvieron pequeñas muestras de los morteros, las cuales se pasteurizarán en una estufa a 70 °C durante 30 min. Posteriormente se utilizaron en la siembra del cultivo aplicando el método de antibiograma, colocando en forma triangular 3 muestras representativas de cada mortero con ayuda de una pinza previamente esterilizada a la flama.

El aislamiento de las cepas de hongo se realizó con la técnica de agotamiento de asa, bajo el siguiente procedimiento: se agitó el frasco de cultivo y mediante un asa fría que se desinfecta previamente con flameo, se colocó la muestra en la superficie del medio de cultivo, el cual se sembró por estría continua sin recargar el asa, para obtener colonias. Este proceso se realizó por triplicado, incubando las muestras de prueba a la temperatura indicada por la norma de 25 °C.

En el cultivo de hongos se usó agar dextrosa-papa por cada 1000 mL de agua destilada y se añadieron 39 g de agar, dicha mezcla se sometió a tratamiento térmico hasta llegar a una temperatura de 100 °C y se dejó en ebullición por 1 minuto con agitación constante. Posteriormente se preparó el ácido tartárico al 10% usando 1 g en 20 mL de agua destilada. El agar y el ácido tartárico se esterilizaron en una autoclave a 15 psi de presión durante 15 minutos. Posteriormente, se vertió el ácido en el agar y se agitó vigorosamente para después añadir el agar en las cajas Petri hasta cubrir el fondo y moviéndola 7 veces hacia la derecha, 7 veces hacia la izquierda, 7 veces hacia arriba y 7 veces hacia abajo. Posteriormente se dejó solidificar y se agregaron los especímenes para después realizar la

siembra con un asa bacteriológica, donde se tomó una muestra de la cepa y se incorporó en el medio.

Los hongos se mantuvieron a 25 °C durante 5 días. Las pruebas antimicrobianas se basaron en el método de discos Bauer & Kirby utilizados en las pruebas de sensibilidad microbiana determinadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En estas se colocaron tres piezas del mortero en la caja Petri con medio de cultivo y muestra, para su posterior observación en un periodo de tiempo de 3 y 5 días (Echeverry-Chica et al., 2020).

En esta sección se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión realizados sobre cada bloque de tierra comprimida, los cuales se realizaron por triplicado para analizar el comportamiento estadístico. Las pruebas fueron realizadas después de 28 días de curado. Se puede apreciar en la gráfica de la Figura 22, que según la especificación de la norma NMX-C-508-ONNCCE-2015, las mezclas blanco ALC, ALCM5%, ALCMR5%, ALCMR10% y ALCMR15% cumplen con los parámetros de resistencia a la compresión.

Para la determinación de remoción de cloruros se aplicó el método de Mohr, cuyos resultados mostraron que las mezclas que solamente contienen mucílago de nopal presentan cierta interacción positiva con los iones cloruro, sin embargo, esta interacción no se mantiene estable. Como se observa en la Figura 23, las variaciones son mucho más marcadas que en el caso de las probetas que tienen extracto de rábano. Esto es un indicativo de que el extracto de rábano estabiliza la interacción y permite que el material retenga de manera adecuada estos iones y que estos no se filtren hacia el interior de la probeta, si no que se pueden mantener en la superficie y esto permitiría entonces combinar las mezclas con otros materiales como el acero para brindar un método de prevención de la oxidación.

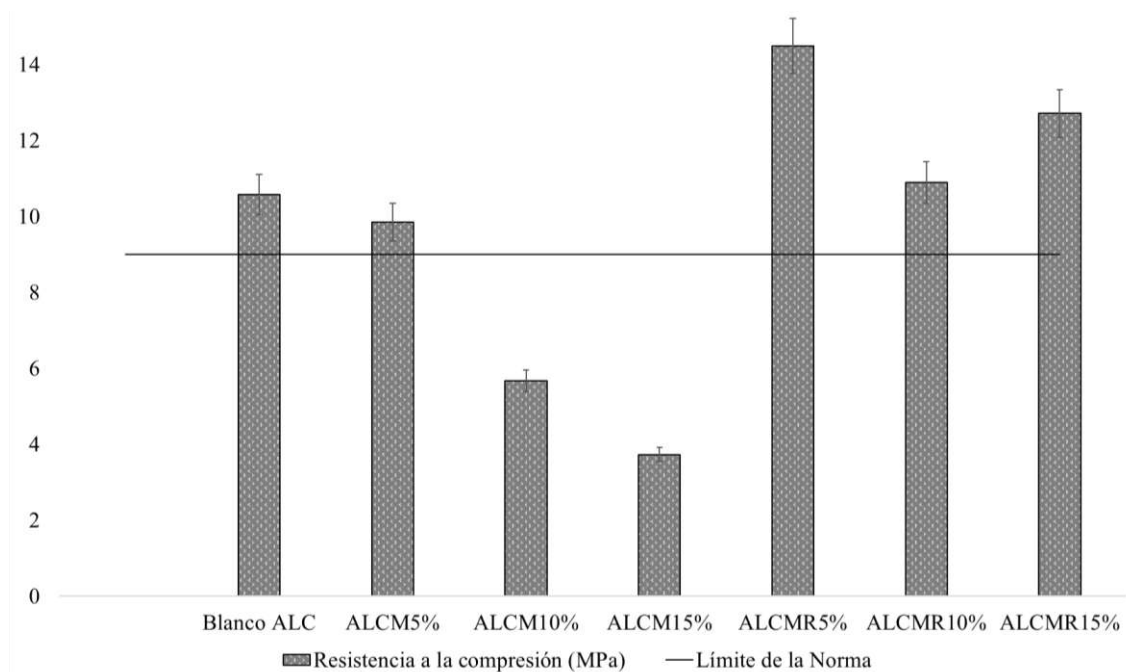


Figura 22. Resultados del esfuerzo a la compresión de las mezclas de tierra en bloques de tierra comprimida.

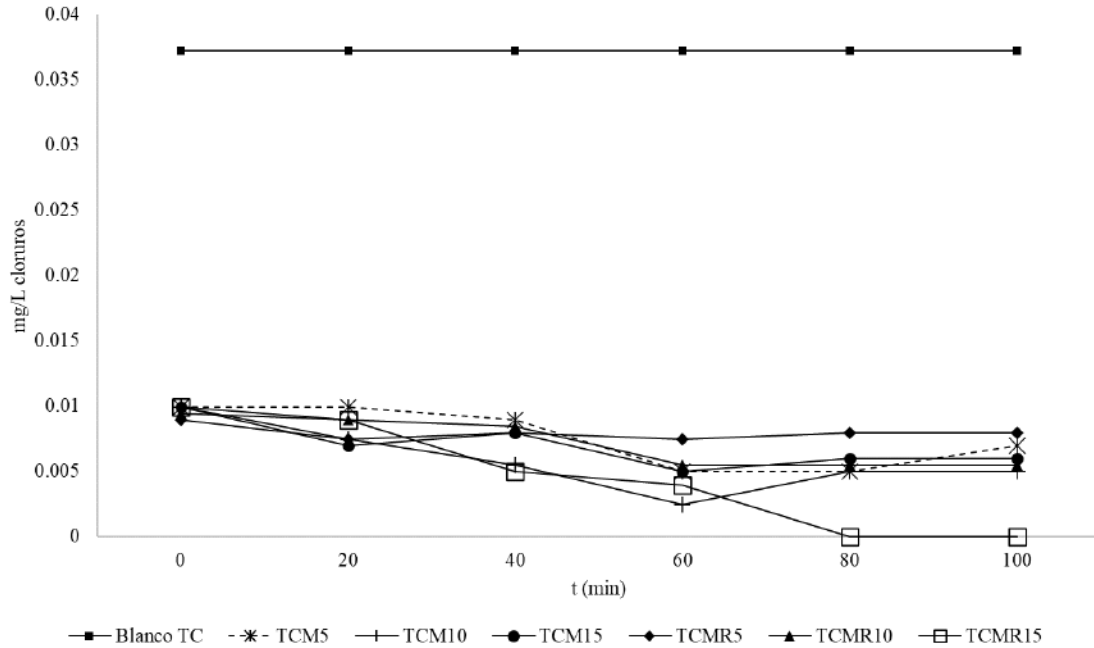


Figura 23. Resultados de la interacción con iones cloruro.

En el efecto antimicrobiano contra hongos, el espécimen que mostró poca actividad microbiana fue el ALCMR15% como se puede apreciar en la Figura 24 donde en a) se tiene la caja Petri con tres especímenes utilizando el método antibiograma, en el cual se colocaron en forma triangular y en b) la imagen microscópica de la superficie de la muestra, en la cual no se observa el apareamiento de hongo en el mortero, por lo cual cabe destacar que con la adición del extracto de rábano, mucílago de nopal y estabilizado con cal se obtuvo una menor actividad microbiana. El resultado obtenido era lo esperado, a diferencia del blanco y las muestras que solamente contienen mucílago de nopal, las cuales presentaron una mayor actividad microbiana. En el inciso c) de la misma figura se muestra una fotografía del moho *Alternaria alternata*. Este es un moho común al aire libre, que se caracteriza por ser un alérgeno muy común y que puede causar enfermedades como infecciones en el tracto respiratorio superior además de asma y que fue empleado en este experimento.

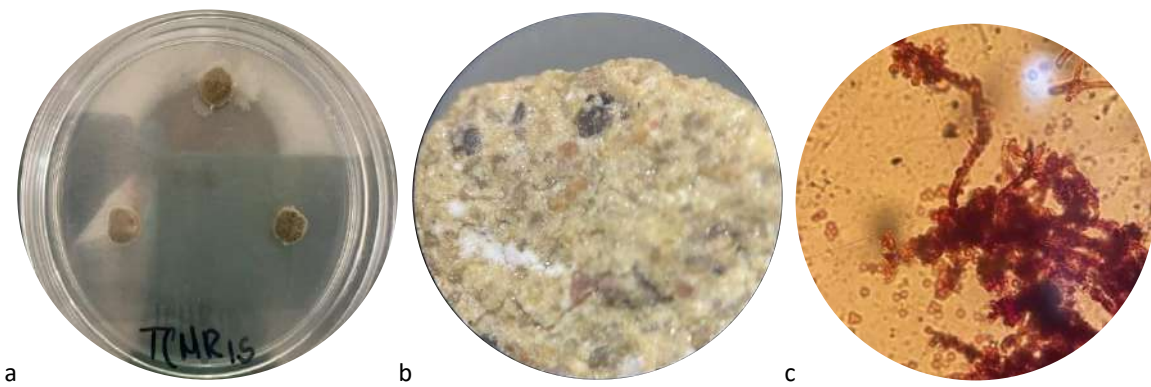


Figura 24. Pruebas de resistencia contra hongos.

Para las viviendas representativas se determinó la capacidad calorífica y la conductividad térmica con un dispositivo de medición de difusividad térmica KD2 Pro, marca Decagon Devices Inc. A partir de las ecuaciones de transporte de energía, se obtuvo una solución analítica que involucra los principios básicos de los fenómenos de transporte. Para obtener el modelo matemático que describe el comportamiento térmico de los muros de las viviendas, se consideró un transporte exclusivamente por conducción y el del aire presente en una habitación es por convección presentando una ecuación diferencial parcial que incluye la temperatura en la pared, el tiempo estimado para la transferencia de calor, la distancia medida tomando como referencia el lado exterior de la pared, así como la capacidad calorífica y el coeficiente de conductividad térmica del muro expuesto al sol.

El comportamiento temporal de la temperatura del aire en la habitación se obtiene a partir del volumen y el área en la habitación (suma de las áreas de las paredes y del techo), considerando el espesor de la pared y la capacidad calorífica y el coeficiente de transporte de calor por convección natural del aire. El diagrama del modelo matemático se muestra en la Figura 25 y la solución completa obtenida según Suárez-Domínguez et al. 2022, tiene como resultado:

$$T_2(t) = \frac{(T_{2,0} - T_{1,0})}{\left(\frac{h^2}{\kappa_1} C_1 - \frac{C_2 V}{UA}\right)} \left( \frac{h^2}{\kappa_1} C_1 \exp\left(-\frac{t}{\left(\frac{h^2}{\kappa_1} C_1\right)}\right) - \frac{C_2 V}{UA} \exp\left(-\frac{t}{\frac{C_2 V}{UA}}\right) \right) + T_{1,0}$$

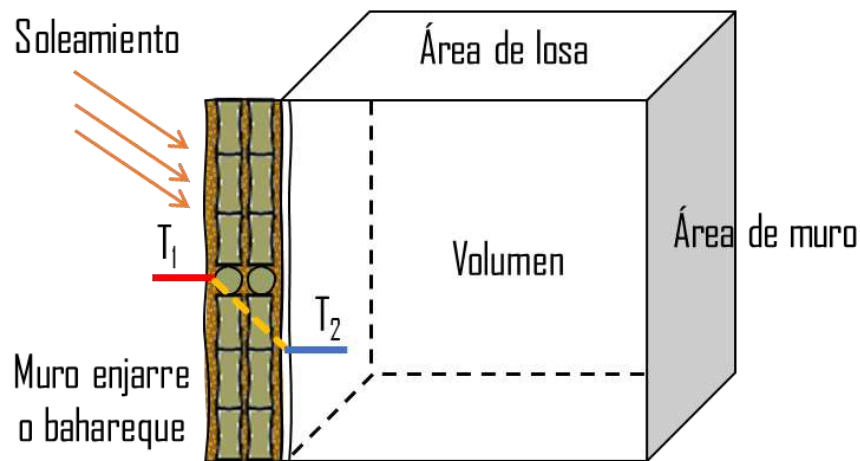


Figura 25. Sistema analítico para la obtención del modelo matemático que describe el comportamiento térmico de los materiales en las vivienda rural.

Los valores encontrados experimentalmente para la transferencia de calor del material se encuentran resumidos en la Tabla 5. En la Figura 26 se muestra un ejemplo de los muros de vivienda que fueron empleados en el estudio térmico. Estas fueron seleccionadas debido a que emplean la técnica de bahareque y son las que se encontraron en mejor estado y que los usuarios dieron autorización para acceder al interior de la vivienda y realizar el estudio, lo cual fue un detonante para comenzar a gestar el trabajo colaborativo.



Figura 26. Muros modelo de vivienda de bahareque para estudio térmico.

Tabla 5. Propiedades físicas de los muros en vivienda de bahareque.

Propiedades físicas	Definiciones de la ecuación modelo		
		Cp	Capacidad calórica
Pared	k	Coeficiente de conductividad térmica	
Cp (MJm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	k (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	U	Coeficiente de transferencia de calor por convección natural
1.09	0.359	T <sub>amb</sub>	Temperatura ambiente
Aire		T <sub>int</sub>	Temperatura interior de la habitación
Cp (MJm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	U (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	H	Espesor de la pared
0.0012	5	L	Longitud característica de la habitación
		f	Dimensión fractal del perfil de altura de la superficie en el exterior de la pared

A partir del modelo propuesto, en la Figura 27 se muestra la gráfica de temperatura exterior e interior que se predice para este tipo de viviendas.

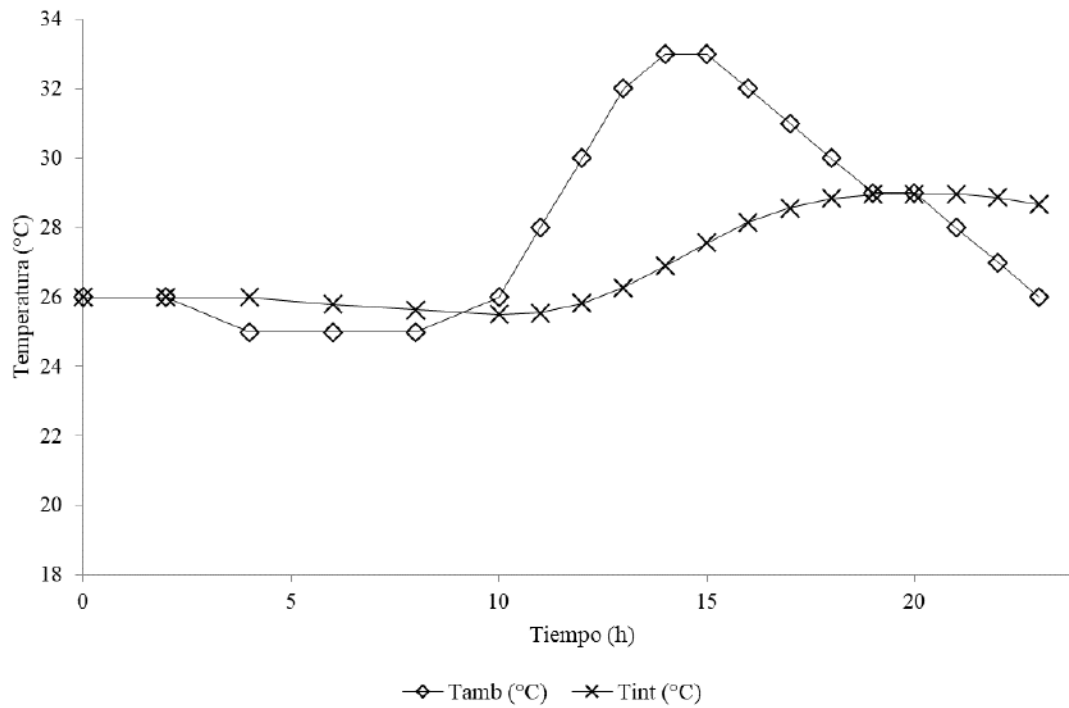


Figura 27. Gradiente de temperatura interior y exterior en los muros de vivienda analizadas.

Las principales implicaciones relacionadas con el diseño arquitectónico que impactan en la confortabilidad se encuentran en aspectos que son conocidos y mencionados por los usuarios de la vivienda y estos se discuten a continuación.

#### 1. Efecto de la presencia de lámina en la temperatura interior

Si bien la presencia de lámina como cubierta principal de las viviendas tiene alta transferencia de calor y una reducida diferencia de temperatura entre el interior y exterior (donde se puede considerar que la temperatura exterior e interior de la lámina es la misma) la tradición lo resolvió con una altura pronunciada en V invertida colocando ventanas en los dos extremos de la sección a dos aguas. De esta manera, cuando existen temperaturas altas el aire caliente puede salir a través de ellas por diferencia de densidad, permitiendo un flujo adecuado de aire. Este mismo efecto en tiempos de frío o temperaturas bajas, permite tener un colchón de aire que reduce la transferencia de calor a la parte inferior de la vivienda.

#### 2. Efecto del diseño de la vivienda tradicional con respecto a la humedad

A diferencia de otras zonas de la Huasteca, es común encontrar que la humedad por lluvia se resuelve con corredores perimetrales que protegen los muros. Adicionalmente la placa estabilizada que sobresale hasta 25 cm sobre el suelo evita el contacto de la base con agua en exceso, lo que explica la antigüedad de las viviendas encontradas que datan de hasta antes de 1920.

Uno de los problemas principales encontrados en la zona dentro de los sistemas constructivos preferidos se refiere al desprendimiento del material de tierra cuando se aplica la técnica de embarrado. Se encontró que en las zonas con mayor humedad y salinidad, el desprendimiento del recubrimiento a base de suelo arcilloso es más común, siendo necesario mejorar las propiedades de adherencia de las mezclas de tierra. Este tema es el que motiva la búsqueda de la mejora de los materiales a través del estudio del efecto de extractos orgánicos de fácil obtención y procesamiento. En la Figura 28 se muestran detalles de los desprendimientos de material encontrados en las viviendas de las localidades visitadas.

A partir de lo realizado en esta investigación, en donde se consideraron viviendas existentes por estudios anteriores realizados en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, se encuentra que existe compatibilidad de un sistema constructivo a base de tierra para crear bloques de tierra comprimida, pero que se debe adaptar en cuanto a la forma existente, como se sugiere a continuación:

- Conservar el diseño en planta rectangular con tapa a dos aguas a 45° con lámina galvanizada.
- Conservar o incluir corredores perimetrales a la vivienda con pendiente de 5° a 30° en la losa empleando lámina galvanizada, en dependencia de la radiación solar que se reciba, convirtiéndose en una zona donde se pueden realizar las actividades



principales físicas respecto a la recreación y el descanso, así como ser una zona de recepción de visitas.

- Las actividades de cocina pueden realizarse en un espacio independiente con una cubierta de lámina galvanizada inclinada en un ángulo de 5° a 30° en dependencia de la radiación solar recibida.
- Conservar el sanitario en el exterior conectado por el corredor perimetral.
- Para los casos en donde exista menor espacio disponible para construcción se tendrá una cubierta a dos aguas que se extenderá hasta garantizar que se cubren los muros del lado largo y lado corto.
- En todos los casos conservar un basamento de 20 a 25 cm de peralte.
- Realizar mezclas para embarre y bahareque con la formulación ALCMR15%: 62.5% arcilla tierra amarilla, 12.5% suelo limoso Medrano, 10.0% cal, 7.5% mucílago de nopal y 7.5% de extracto de rábano. Esta mezcla tendrá buena cohesión de los materiales y reducirá el desprendimiento de los materiales. Además protegerá los elementos estructurales del ataque de la salinidad y protegerá contra la aparición de microorganismos el interior de la vivienda.



*Figura 28. Detalles de los desprendimientos de material de enjarrado.*

## Metas cumplidas

La meta primordial en la visión de este proyecto fue el desarrollo de tecnología desarrollada a nivel laboratorio, que cumpla con los estándares de calidad para su aplicación en la construcción de viviendas sustentables, logrando un impacto positivo en las comunidades desprotegidas cuyo acceso a la vivienda justa y adecuada se vea apantallado por las condiciones de desigualdad social y carencia económica.

Una meta secundaria, pero no menos importante, fue la interacción con las entidades gubernamentales para incentivar la implantación integral de políticas públicas que observen el acceso a la vivienda justa desde el punto de vista del desarrollo lo cual se podrá extrapolar a partir de los resultados obtenidos a otras comunidades en el territorio Mexicano. Esto además se refuerza con una vinculación entre las universidades y los gobiernos locales para la aplicación de proyectos futuros.

Finalmente, la meta inherente al proyecto fue la integración de estudiantes de las diferentes carreras involucradas en las actividades disciplinares de forma que desde su nivel de formación los estudiantes comiencen a participar en la transformación de su entorno. Las metas logradas ven su materialización en los productos obtenidos en el desarrollo de este proyecto y que son (todos los documentos mencionados se adjuntan como anexos para este reporte técnico):

1. Capítulo de libro: *La tierra respira: I. Vivienda, comunidad y calidad de vida en el Norte de Veracruz.*
2. Capítulo de libro: *La tierra respira: II. Materiales sustentables y calidad del hábitat en viviendas de tierra.*
3. Guion técnico Taller "Rescatando el pasado para construir el futuro".
4. Ponencia oral en congreso internacional 20º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra con la ponencia: Mortero de tierra modificado con extractos vegetales orgánicos aplicado en elementos estructurales.
5. Participación en el 4º Foro Nacional de Posgrados: El rigor científico y la pertinencia social en el Sistema Nacional de Posgrados, con la ponencia: *Impacto de proyectos interdisciplinarios CONACYT y PRODEP, para atender Problemas Nacionales, en la formación de estudiantes de posgrado de la FADU-UAT.*
6. Desarrollo de Tesis de Maestría: *Mortero de tierra, modificado con extractos orgánicos aplicado en elementos estructurales*, Mildred Michelle Navarro Reyes, Maestría en Ciencias de la Ingeniería, ITCM TecNM.
7. Participación en el programa "Correcaminos hacia la Ciencia UAT" Tema: *Uso de celulosa polianiónica como agente aglomerante en mezclas de tierra para construcción de vivienda*, Evelyn Coria Coria, Arquitectura FADU UAT.
8. Participación en el programa "Correcaminos hacia la Ciencia UAT" Tema: *Lignina recuperada de madera de desecho como agente aglomerante en mezclas de tierra para construcción de vivienda*, Axel Iván Dueñas Juárez

9. Replicación de la metodología de análisis térmico de la vivienda a la zona rural de la Sierra de San Carlos en Tamaulipas, a través de dos artículos científicos:
  - a. About the comfort of house-buildings with earth walls in San Carlos, Tamaulipas, enviado a la revista Cogent Engineering editorial Taylor & Francis.
  - b. Coefficient of thermal conductivity as a unified value of comfort of adobe housing, enviado a la revista Case Studies in Construction Materials editorial Elsevier.

## Beneficios e impactos positivos logrados

Como puede notarse, esta propuesta conforma cuatro instituciones con un total de 6 grupos de investigación, por lo que se distingue una interinstitucionalidad y transectorialidad con un objetivo en común dirigido a la conformación de un proyecto para la generación y aplicación de conocimiento en materiales sustentables en la edificación que permitan la autoproducción y el desarrollo de sistemas constructivos de bajo costo y que además permitan sustituir materiales convencionales (concreto y acero), reduciendo con esto las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan durante su producción.

También se considera la situación real de la población, promoviendo un desarrollo mano a mano con la sociedad, de tal forma que no se realiza una comunicación unidireccional, si no que potencializa el crecimiento en conjunto con los actores participantes. Los beneficios e impactos positivos que se lograron con este Proyecto de Investigación e Incidencia son:

- Sociales – inclusión de las comunidades marginadas y desprotegidas en los objetivos del desarrollo sostenible y el acceso justo al hábitat y a la vivienda adecuada a través del estudio compartido de sus propias comunidades y a través de un taller que acerca a los niños a las técnicas tradicionales de construcción con tierra.
- Jurídicos – impacto en el desarrollo de políticas públicas locales que establezcan la incidencia del desarrollo de la vivienda empleando materiales vernáculos de fácil acceso y bajo costo.
- Institucionales – conformación de un grupo de investigación interdisciplinario que permitirá el desarrollo futuro de nuevas investigaciones y proyectos con relevancia en su asimilación social en el corto plazo.
- Científicos – transferencia exitosa de investigaciones tecnológicas en el ámbito de la construcción sustentable.
- Desarrollo de recurso humano enfocado en la transformación de su entorno.

## Impacto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El tema de investigación expuesto genera conocimiento de frontera, alineado a uno de los problemas nacionales que es la vivienda. Pero también es uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030. Una de las características destacables es que este proyecto también aborda dos objetivos adicionales:

1. El objetivo 11, Comunidades y sociedades sostenibles
2. El objetivo 13, Acción por el clima

El uso de los materiales propuestos en conjunto con los sistemas constructivos adaptados así como la elaboración de mezclas desarrolladas por la Universidad Autónoma de Tamaulipas permite sostenibilidad en el uso de los materiales cercanos y reducción de consumo de materiales industriales.

Es importante señalar que derivado de la localización de las zonas desde y hasta las fuentes de obtención de materiales industriales, se incrementa la cantidad de emisiones contaminantes. Como pronta referencia puede decirse que, por ejemplo, para una comunidad visitada en Tampico Alto, se debe invertir gasolina para trasladar materiales por lo menos 11 km hasta el lugar de abastecimiento más cercano y éste a su vez recibe el suministro de materiales de distribuidores a más de 25 km de la localidad.

El potencializar los materiales vernáculos, biodisponibles y asequibles a las poblaciones rurales de las zonas rurales, como las analizadas en el Norte de Veracruz, que se encuentran cercanos a zonas húmedas y ambientes salinos, es primordial para cumplir con las acciones por el clima y continuar con el desarrollo sostenible al atender el problema nacional de vivienda.

## Conclusiones

En este reporte técnico se presentan los datos recolectados durante las visitas de trabajo de campo a cinco comunidades rurales en los municipios de Pueblo Viejo y Tampico Alto en el norte del estado de Veracruz Ignacio de la Llave: Estación Palachó, Estación Carbono, El Tular y Las Guayabas en Tampico Alto y Mezquite Gordo en Pueblo Viejo. De acuerdo con el INEGI estas localidades presentan un bajo índice poblacional en un intervalo de entre veintiséis y ciento sesenta y un habitantes en el último censo del año 2020. Con respecto a los datos obtenidos en este rubro para el año 2016, es apreciable el impacto de la migración en la zona al tenerse una disminución de los habitantes. Esto también repunta en la cantidad de viviendas y el uso clasificatorio que reciben, siendo habitada, deshabitada y en uso temporal.

Esta investigación se basó en la recopilación de las características de estas viviendas pero además en la identificación de la percepción de la vivienda adecuada de los propios miembros de las comunidades. En este contexto, se encontró que en general, las personas que no han migrado a otras localidades y que permanecen en las inmediaciones, comparten un sentido de pertenencia. Esto encuentra motivación en la cantidad de tiempo que han pasado viviendo en estas localidades rurales.

En algunos casos se encontraron viviendas de casi cien años de antigüedad y la vivienda más joven con una edad de quince años. Prevalece la consigna de regresar a habitar viviendas de los antepasados o bien, permanecer mientras los descendientes migran por estudio y/o trabajo.

Ante este panorama, el rezago en desarrollo comunitario recae en la falta de programas activos enfocados en el desarrollo de la vivienda adecuada. Esto se respalda por la falta de un Plan de Ordenamiento Territorial o un Plan Municipal de Desarrollo, como en el caso del municipio de Tampico Alto. En el caso de Pueblo Viejo, se cuenta con un Plan Municipal de Desarrollo que está actualizado y alineado a los preceptos estatales de desarrollo social, pero no enmarca aspectos puntuales para el tema de vivienda.

El proyecto busca además explorar el trabajo conjunto con los gobiernos municipales para impulsar la gestión de programas federales y estatales enfocados en la vivienda adecuada. Sin embargo, el trabajo de campo realizado permitió corroborar que la problemática de vivienda se relaciona con muchos otros problemas que afectan a los habitantes de las comunidades rurales. Por esto se plantea el desarrollo del concepto evolución comunitaria incidente que se puede definir como las acciones y programas de crecimiento social que impulsan el desarrollo humano de las comunidades, atendiendo en primera instancia las necesidades básicas y proveyendo los recursos y materiales para diseñar y gestionar proyectos de participación comunitaria y no individualista. La participación colectiva en el ámbito de la vivienda se debe basar en la autoproducción

sustentable y de bajo costo, empleando técnicas y materiales que sean diseñados, producidos y aplicados por los usuarios finales de la vivienda y que permitan el replicar en toda la comunidad un solo modelo de acción para la autoproducción de vivienda.

Este trabajo, recopila el testimonio generacional de las personas que habitan estas cinco comunidades rurales con respecto a la vivienda que emplea técnicas sustentables basadas en la construcción con tierra. La información recabada permite desarrollar investigaciones de incidencia que sean punta de lanza en el avance técnico de la vivienda tradicional de forma que represente una opción viable y plausible para cumplir con los Objetivos de la agenda 2030 de Desarrollo Sostenible.

Los sistemas constructivos que representan la moda son bahareque y embarrado de tierra en madera, los cuales permiten una confortabilidad alta a la baja transferencia de calor desde el exterior al interior. Esto se logra en combinación con la tipología de cubierta y corredores perimetrales. Las principales cubiertas encontradas están configuradas en dos aguas con puntos de ventilación que permiten la migración del aire caliente y el enfriamiento masificado de la lámina galvanizada. Los corredores perimetrales protegen a los muros de los rayos de sol y del contacto directo con el agua de lluvia.

Dentro del desarrollo tecnológico se obtuvo un material basado en los suelos encontrados en las localidades mencionadas. Se encontró que estos suelos son esencialmente arcillas de baja plasticidad y que son las que han sido empleadas en la construcción de viviendas. Aunque la edad promedio de las viviendas es de 40 años, han sufrido grandes deterioros como desprendimiento de los recubrimientos en muros y daños en la madera estructural. Estos materiales fueron funcionalizados con cal, suelo limoso, mucílago de nopal y extracto de rábano, lo que permite tener mejores propiedades mecánicas y otorgarle propiedades antimicrobianas y de interacción con iones en ambiente salino. Estos materiales lograron demostrar efectividad a nivel laboratorio y en una etapa de colaboración participativa comunitaria se emplearán para dar mantenimiento correctivo a las viviendas habitadas con mayores daños en las comunidades.

A partir de las observaciones realizadas, la caracterización de las viviendas, la caracterización de los materiales y el diseño experimental de mezclas mejoradas para las técnicas de bahareque y embarrado en madera, se pudo contrastar el estado de las viviendas contra prototipos experimentales desarrollados por la FADU UAT. Fue posible describir una propuesta de vivienda modelo que se puede producir en las comunidades visitadas, respetando las tradiciones y el estilo de vida de las comunidades.

La incidencia social tuvo su mayor impacto en la impartición de un taller para niños enfocado en las técnicas tradicionales de construcción con tierra. El objetivo de este taller fue motivar e incentivar a los niños (y a sus papás) en el ámbito de la sustentabilidad estimulando su aprendizaje a través de la práctica para mejorar sus viviendas y comunidades, rescatando la vivienda del pasado para construir la vivienda del futuro.

## Referencias

- Aguillón-Robles, J., Arista-González, G. J., & Cataño-Barrera, A. M. (2021). Comportamiento térmico de la vivienda rural, Microrregión Huasteca Norte, San Luis Potosí, México. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 15(28), 102-111.
- Aranda-Jimenez, Y. G., & Suarez-Dominguez, E. J. (2020). Determining the carbon footprint for a new earthen-based finish. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(1), 143-148.
- Baquedano, P., Eudave, R. R., Miranda, F. N., Graus, S., & Ferreira, T. M. (2021). Traditional earth construction in Latin America: a review on the construction systems and reinforcement strategies. *Masonry Construction in Active Seismic Regions*, 99-121.
- Barnaure, M., Bonnet, S., & Poullain, P. (2021). Earth buildings with local materials: Assessing the variability of properties measured using non-destructive methods. *Construction and Building Materials*, 281, 122613.
- Chayavanich, K., Thiraphibundet, P., & Imyim, A. (2020). Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 226, 117601.
- CONEVAL (2018) Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018, Primera edición: octubre de 2018, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Cortés Lara, Mara Alejandra. (2019). El reto de la sustentabilidad ante la expansión urbana y la producción social de vivienda. *Revista Vivienda y Comunidades Sustentables*. Universidad de Guadalajara. Recuperado de: <http://www.revistavivienda.cuaad.udg.mx/index.php/rv/article/view/129>.
- Cortes, G. R., & Aguilar, R. I. (2002). Use of bamboo in the huts of rural Mexico. In *Bamboo for Sustainable Development* (pp. 673-678). Brill.
- Echeverry-Chica, J., Naranjo-Díaz, A., & Araque-Marín, P. (2020). Nanopartículas de plata funcionalizadas in situ con D-limoneno: efecto en la actividad antibacteriana. *Revista Ion*, 33(1), 79-92.
- Garibay, L. A. T., & Salomao, E. M. A. (2021). Transmisión de la tecnología constructiva de la arquitectura tradicional en México: Patrimonio en peligro. *PatryTer*, 4(7), 78-89.



Ghanizadeh, A. R., Yarmahmoudi, A., & Abbaslou, H. (2020). Mechanical properties of low plasticity clay soil stabilized with iron ore mine tailing and Portland cement. *Journal of Mining and Environment*, 11(3), 837-853.

González, G. J. A. (2017). TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS CON BAMBÚ. UNA RESPUESTA SUSTENTABLE PARA VIVIENDA EN LA ZONA HUASTECA DE SAN LUIS POTOSÍ. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (2), 29-38.

González-López, J. R., Juárez-Alvarado, C. A., Ayub-Francis, B., & Mendoza-Rangel, J. M. (2018). Compaction effect on the compressive strength and durability of stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, 163, 179-188.

Hamard, E., Cazacliu, B., Razakamanantsoa, A., & Morel, J. C. (2016). Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building. *Building and Environment*, 106, 103-119.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2016) Inventario Nacional de Viviendas, disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Censo de Población y Vivienda 2020 (Censo 2020) (2022) <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Mapa Digital de México (2022) <https://www.inegi.org.mx/temas/mapadigital/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México en Cifras (2022) <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) (2022) <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/>

Karak, P. (2019). Biological activities of flavonoids: an overview. *Int. J. Pharm. Sci. Res*, 10(4), 1567-1574.

Lara, R. L. (2014). Caracterización multidimensional de la vivienda tradicional en la Huasteca Potosina. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 08.

Lara, R. L., Robledo, M. A., Hernández, H. R., & Martínez, J. F. (2014). La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo. *Revista de arquitectura*, (16), 126-133.

León-Martínez, F. M., Cano-Barrita, P. D. J., Lagunez-Rivera, L., & Medina-Torres, L. (2014). Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 53, 190-202.

- Lidón de Miguel, M., Vegas, F., Mileto, C., & García-Soriano, L. (2021). Return to the native earth: historical analysis of foreign influences on traditional architecture in Burkina Faso. *Sustainability*, 13(2), 757.
- Loreto, J. (2012). Arquitectura de tierra en Sonora. *Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto*, 4(4), 12.
- Markman, S. D. (1990). La arquitectura popular o vernácula como reflejo de las condiciones económicas de Chiapas colonial. *Mesoamérica*, 11(20), 267-274.
- Martínez Gutiérrez, A., & Pedraza Gómez, C. (2018). Tipos de arquitectura habitacional de la Huasteca Potosina en la primera mitad del siglo XX. *TECTZAPIC Revista de divulgación científica y tecnológica*, (noviembre).
- Maskell, D., Reddy, V., Heath, A., & Walker, P. (2016, June). Modern earth construction techniques—an overview. In *16th International Brick and Block Masonry Conference*, 2016.
- Medina-Garza, H., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M. G., Mejía-Saavedra, J. D. J., & Arreola-Martínez, B. E. (2016). Modelado espacial bayesiano de la enfermedad de Chagas en la Huasteca Potosina. *Revista biomédica*, 27(3), 97-109.
- MolaAbasi, H., Kharazmi, P., Khajeh, A., Saberian, M., Chenari, R. J., Harandi, M., & Li, J. (2022). Low plasticity clay stabilized with cement and zeolite: An experimental and environmental impact study. *Resources, Conservation and Recycling*, 184, 106408.
- Molar-Orozco, M. E., Velázquez-Lozano, J., & Vázquez Jiménez, M. G. (2020). Comportamiento térmico de tres prototipos en Saltillo, Coahuila (bloques de tierra, concreto y tapa de huevo). *Revista hábitat sustentable*, 10(1), 22-31.
- Morales-Cristóbal, R., Sánchez-Medrano, M. T., Arista-González, G. J., & Suárez-Domínguez, E. J. (2020). Comparison of housing construction systems in the huasteca zone: Vernacular, industrialized and hybrid. Study cases. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00359.
- O'Kelly, B. C. (2021). Review of recent developments and understanding of Atterberg limits determinations. *Geotechnics*, 1(1), 59-75.
- Paíta, G. C., Robles, J. A., & Gonzáles, G. A. (2021). Análisis bioclimático de la tradición constructiva de la vivienda rural en la Huasteca Potosina. *Limaq*, (008), 53-71.
- Pele-Peltier, A., Fabbri, A., Morel, J. C., Hamard, E., & Lhenry, M. (2022). A similitude relation to assessing the compressive strength of rammed earth from scale-down samples. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00921.
- Pennacchio, R., De Filippi, F., Bosetti, M., Aoki, T., & Wangmo, P. (2022). Influence of Traditional Building Practices in Seismic Vulnerability of Bhutanese Vernacular Rammed Earth Architecture. *International Journal of Architectural Heritage*, 16(3), 374-393.

Peraza-Gongora, J., Rios-Soberanis, C. R., Verriest, A. J. E. D., & Rodriguez-Laviada, J. (2022). Geomechanical Characterization of Experimental Mud Bricks from La Joya Archaeological Site: Effect of the Addition of Additives on Their Mechanical Properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 1-17.

Pueblo Viejo Gobierno Municipal 2022-2025, Anexo de Actualización y Alineación del Plan Municipal de Desarrollo de Pueblo Viejo 2019-2024 (2022) <http://www.puebloviejo.gob.mx/wp-content/uploads/sites/146/2018/04/Anexo-de-Actualizaci%C3%B3n-y-Alineaci%C3%B3n-PMD-PUEBLO-VIEJO.pdf>

Rangel, J. A. S., Monreal, L. A., & Ramsey, J. M. (2016). Resiliencia comunitaria y enfermedad de Chagas en una región rural de México. *Revista de Saúde Pública*, 50, 46.

Roux-Gutiérrez, R. S. (2019). Bahareque y su Inercia Térmica para muros de viviendas de Interés Social. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 13(23), 25-32.

Sánchez, M. J. H., Villalba, C. I. C., Armijos, H. E. M., Requelme, S. E. R., & Farías, J. J. C. (2021). El Crédito de Desarrollo Humano como estrategia de la Economía Popular y Solidaria para combatir la pobreza. *Visionario Digital*, 5(1), 52-69.

Serrano-Barquín, H., Hernández-Moreno, S., & Mendiola-Germán, I. (2009). Revalorización de la arquitectura popular en la conservación del patrimonio mexiquense. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 4(6), 11-18.

Suarez-Dominguez, E. J., Aranda-Jimenez, Y. G., Pérez, A. P., & Kulich, E. I. (2015). Determinación de los perfiles de temperatura y tiempo en un proceso de transferencia de calor en tierra vertida. *Revista Cubana de Ingeniería*, 6(1), 23-28.

Tampico Alto Gobierno Municipal 2022-2025 (2022) <http://www.tampicoalto.gob.mx/>

Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. D. L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food, and animal nutrition. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 1129-1142.

Villareal Peralta, E. M., & Zayas Pérez, F. (2021). Desarrollo humano y Educación: una perspectiva de la educación enfocada al desarrollo humano. *Vértice universitario*, 23(90), 28-39.