

COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE TIERRA VERTIDA CON IXTLE Y MUCÍLAGO DE NOPAL

Edgardo J. Suárez-Domínguez¹, Yolanda G. Aranda-Jiménez², Josué F. Pérez-Sánchez³

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU). Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico, México

¹edgardo.suarez@uat.edu.mx, ²yaranda@uat.edu.mx; ³josue.perez@uat.edu.mx³

Palabras clave: sustentabilidad en construcción, construcción con tierra, comportamiento mecánico

Resumen

En México actualmente se requiere el incremento de producción de vivienda al alcance de sectores vulnerables económicamente, accesibles principalmente en poblaciones de más bajos recursos. Alternativas de tierra consiste en diversas técnicas destacando el bloque de tierra comprimido, el tapial, la tierra vertida entre otros. En este trabajo se evalúa un material a base de un suelo estabilizado con mucílago de nopal y fibra de ixtle para determinar el comportamiento del esfuerzo en el tiempo con respecto a una mezcla sin fibra. El trabajo de laboratorio consistió en la caracterización de los componentes de tierra y la evaluación mecánica a la compresión de mezclas de tierra con mucílago de nopal e ixtle estabilizados con cemento al 6%, encontrando la gráfica temporal del esfuerzo. Se encontró que las mezclas de tierra con mucílago de nopal e ixtle presentaron un ensanchamiento en la curva de esfuerzo/tiempo, con cambios progresivos de pendiente, a diferencia de las no dosificadas que llegan a un máximo y la pendiente se incrementa instantáneamente.

1. INTRODUCCIÓN

En México hay una larga historia del uso del mucílago de nopal en combinación con la cal, la cual hace que, principalmente en los morteros con estos dos componentes aumenten sus propiedades adhesivas y mejora su repelencia al agua. Tradicionalmente, también el mucílago de nopal se ha empleado de modo similar con el yeso, para morteros en paredes de adobe y de ladrillo; y también como una barrera al agua en el estuco.

Actualmente se han incorporado subproductos de origen natural o industrial en el concreto, tal como el mucílago de nopal. Estudios realizados en los años de los 1980 (Sanjuán, 2001 citado en Ramírez, 2008) sobre las causas que comprometen la durabilidad del concreto, se atribuyen a defectos en la calidad de los materiales en un 16.2%, siendo los errores de ejecución el 38.5% y más del 40% a errores de diseño o cálculo.

El aumento en el precio de los aditivos que se usan con materiales a base de cemento en una obra ha llevado a la búsqueda de nuevas opciones e incluso más económicas. Es por esto que es necesario identificar aditivos naturales de alta disponibilidad en el medio que contribuyan a mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. El uso de mucílago de algunas cactáceas, como el nopal o la sábila, es una de las alternativas de obtener aditivos naturales y eficaces para el concreto.

“La selección de algunas plantas[...] surgió a partir del interés en los estudios de la aplicación del nopal en la pintura de cal y yesos para mejorar sus propiedades higrofóbicas” (Torres et al., 2010, p.13); por otro lado existen fibras naturales que pueden modificar algunas propiedades de los sólidos, como la que proviene del ixtle¹.

Algunos materiales orgánicos que han sido utilizados en la construcción con tierra podrían funcionar para mejorar las propiedades de elementos tradicionales a base de mampostería, pero que pueden ser sustentables si se usan con tierra y otros materiales vernáculos. Para su adición en el concreto, es necesario analizar la modificación de propiedades como

¹ fibra vegetal resistente proviene principalmente del agave lechuguilla, encontrada en México

resistencia a la compresión y tensión cuando se añaden estos elementos orgánicos, que en este trabajo se corresponden con fibras de ixtle y mucílago de nopal.

2. OBJETIVO

Analizar las propiedades de resistencia a la compresión y tensión del material producido con tierra, fibras de ixtle y mucílago de nopal

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Para desarrollar el trabajo de investigación se tomó como base los trabajos relacionados con anterioridad por los autores utilizando el material disponible en la Zona de Tampico-Madero-Altamira, México. Éste material es un suelo integral al que se analizó la granulometría contando con grava, arena, arcilla y limos.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Preparación del mucílago nopal

Se seleccionaron y cortaron los nopales más verdes para favorecer a la extracción del concentrado de mucílago. Para conseguir el extracto, se debe licuar 1 kg de nopal por cada 10 litros de agua. Una vez obtenido el producto, se filtra para retirar cualquier residuo de gran tamaño.

El producto obtenido mezcla con 50 ppm de ácido cítrico y 100 ppm de benzoato de sodio como conservador, dejándose reposar en un bidón muy bien cerrado, durante 24 horas.

3.2 Fibra de ixtle

Esta fibra se obtiene a partir de la planta de *Agave lechuguilla torrey* obtenida en Tampico, Tamaulipas, dentro de las instalaciones de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Para ello, se toman pencas que por estriado se retira el epitelio presente y desprendiéndose las fibras, las cuales son enjuagadas con agua potable y posteriormente se secan a temperatura y presión normales en mesas de laboratorio. Este material también ha sido probado en otras mezclas con suelo, encontrando que es sustentable y amigable con el medio ambiente (Moreno-Chimely et al., 2021)

3.3 Caracterización de la tierra

La tierra utilizada, originada de un banco denominado Champayán, localizado en la Ciudad de Altamira, Tamaulipas, México, contiene agregados pétreos de forma natural. Se utilizó este suelo por que se encuentra disponible en la Región, es de fácil acceso y uso común para rellenos y otras actividades; además este componente presenta de forma natural los agregados de arena, limo, arcilla y agregado pétreo que es utilizado en tierra vertida. A este suelo se le determinó la composición granulométrica, los límites de Atterberg y su contracción lineal.

3.3 Preparo de las probetas

La tabla 1 presenta las doificaciones y tipos de probetas adoptadas para los ensayos de caracteración del suelo y sus adicciones. Las fibras de ixtle son cortadas en tiras de 10 a 15 cm.

Las pruebas para ambos casos, vigas y cilindros, se realizaron a los 7 días y a los 28 días de fraguado o secado según fuera el caso. Para las pruebas de resistencia mecánica se utilizó una máquina universal Marca Controls, facilitada por el Centro de Investigación FADU de la UAT.

Tabla 1 – Probetas y dosificaciones

Forma de la probeta		Ensayo	Cantidad	Mezcla			
Forma	Dimensiones (cm)			Tierra	Mucílago de nopal	Fibra de ixtle	Cemento
cilíndrica	15x30	Resistencia a compresión	4	100%	-	-	-
			4	100%	1%	0,05%	-
			4	100%	1%	0,05%	6%
			4	concreto: 3 arena, 2 grava + 6% de cemento			
viga	15x15x60	Resistencia a flexión	4	100%	-	-	-
			4	100%	1%	0,05%	-
			4	100%	1%	0,05%	6%
			4	concreto: 3 arena, 2 grava + 6% de cemento			

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 presenta la curva granulométrica de la parte gruesa (grava) del suelo utilizado, denominado Champayáde; la tabla 2 presenta los valores de los límites de Atterberg y de contracción del suelo que pasa por la malla de 0,42 mm (#40).

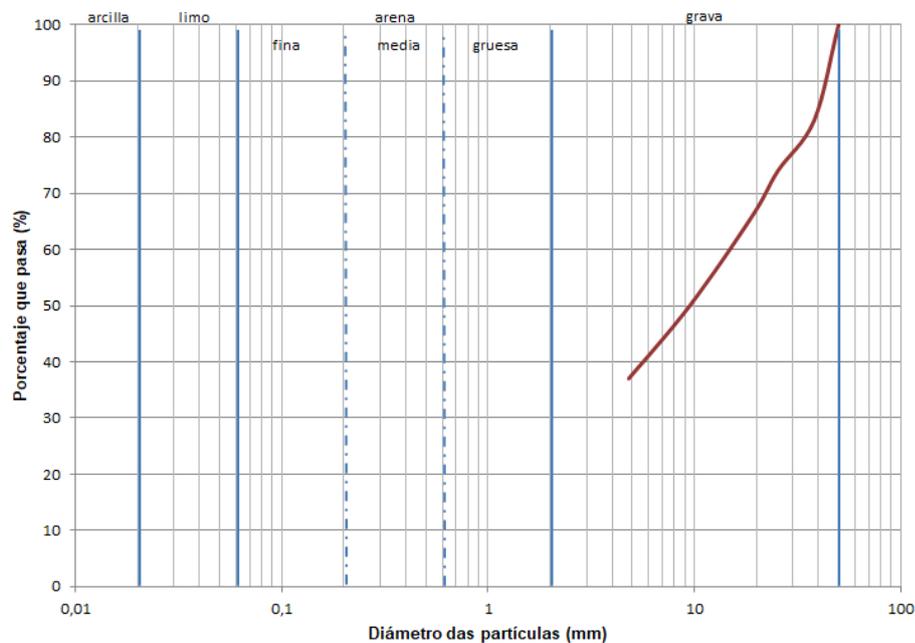


Figura 1 – Curva granulométrica del suelo

Tabla 2.- Límites de Atterberg y de contracción del suelo de Champayán que pasa malla #40 (0,42 mm)

Índices del suelo	Natural	Dosificado con mucílago
Límite líquido (%)	27.7	24.6
Límite plástico (%)	15.5	13.5
Contracción lineal (%)	4.5	3.9

Con respecto a los límites, cómo se puede observar, hay una reducción cuando se añade el mucílago de nopal. En los valores de contracción lineal, el suelo dosificado con el mucílago reduce en poco más del 12% este valor, lo que indica una mayor interacción entre los

componentes.

En este sentido, los efectos cualitativos de los resultados anteriormente mencionados se reflejan físicamente en estructuras de tierra con menos agrietamiento y podría estar relacionada con su resistencia mecánica a la tensión y a la compresión. Este hecho se ha publicado anteriormente por los autores y que se tiene observado un mayor valor cuando los componentes se encuentran mayormente adheridos entre sí y se encuentra dificultad para separarlos o producir un fracturamiento, que es lo que sucede por efecto de una carga.

En la tabla 3 pueden observarse los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los diversos casos, mientras que en la tabla 4 se observan los resultados de resistencia a la flexión obtenidos en las vigas para cada una de las muestras.

Puede observarse que en los casos donde se añade la fibra se tiene una mejora sustancial con cemento. Para fines prácticos se realizó una mezcla sin fibra bajo las mismas condiciones observando que de manera general se presenta una reducción de hasta el 5% de la resistencia para cada uno de los casos. También se notó que se vio afectado por la longitud de la fibra utilizada y que en este caso fue de 3 cm.

Tabla 3 - Resistencia a la compresión (kgf/cm²)

Probeta cilíndrica	7 días	28 días
Tierra con 1% mucílago de nopal y 0.05% fibra	4.02±0.15	12.21±0.05
Tierra con 1% mucílago de nopal y fibra 0.05% + 6% de cemento	31.05±0.08	33.11±0.06
Concreto	28.03±0.18	41.95±0.12
Tierra	3.01±0.35	3.85±0.42

Tabla 4.- Resistencia a la flexión en vigas (kgf/cm²)

Probeta	7 días	28 días
Tierra con 1% mucílago de nopal y 0.05% fibra	0.58±0.07	1.19±0.01
Tierra con 1% mucílago de nopal y fibra 0.05% + 6% de cemento	2.47±0.06	2.87±0.19
Concreto	2.16±0.18	3.9±0.20
Tierra	0.28±0.09	0.3±0.09

En la figura 2 se muestra para el caso a) una curva con respecto al tiempo para tierra con mucílago e ixtle. Note la forma de la curva que para el caso de compresión finaliza la prueba sin el colapso total del elemento.

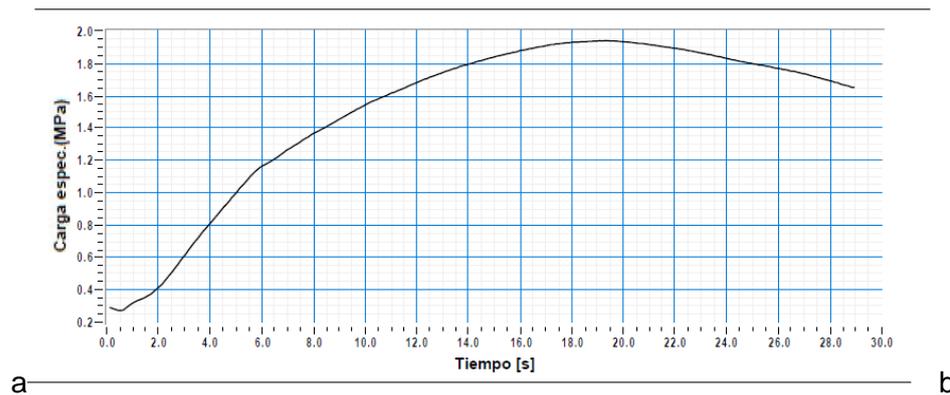


Figura 2.- a) Gráfica de prueba a la compresión en el tiempo; b) Aspecto final de la probeta

Jimenez y Suárez-Domínguez (2014) relatan un método para elaborar mezclas con tierra vertida que fue aplicado para proponer un muro monolítico en vivienda cuyas propiedades fueron mejoradas, posteriormente, mucílago de nopal o acíbar, sin embargo no se explica el por qué de la mejora sustancial de la resistencia, aunque se hipotetiza una mejor interacción de partículas. Cristelo et al. (2012) habían realizado otras estabilizaciones, principalmente con compuestos alcalinos que cambian iones con los componentes del suelo: lo que se encontró en este trabajo no parece interactuar de esta manera. En efecto, el mucílago de nopal, no presentan cationes en su estructura ni otro tipo de metal (Suárez Domínguez; et al., 2013) pero tiene la capacidad de modificar la superficie.

Lo que se encuentra en este trabajo apoya los resultados anteriormente y permiten explicar por qué las mejoras en los resultados de superficie: cuando se tienen cambios en los límite líquido y plástico como los expuestos anteriormente, que son producidos por la añadidura de estabilizantes, puede producir además una reacomodo de los componentes que resulta en modificaciones de su superficie, disminuyendo la rugosidad, además de incrementar su resistencia a esfuerzos externos, esto también podría estar sucediendo con otros estabilizantes naturales como por ejemplo la goma utilizada en Zarazua-Portes et al. (2016).

Además de otros cambios físicos se han tenido mejoras como por ejemplo la transferencia de calor (Suarez-Dominguez et al., 2017) lo que puede deberse a que, aunque exista un mejor arreglo, no necesariamente se traduce en una separación infinitamente pequeña, sino que existe una separación también que mejora en su conformación inhibiendo el paso de calor.

5. CONCLUSIONES

Ante los resultados de esta experimentación, se ha llegado a la conclusión de que el mucílago de nopal, combinado con fibra, funciona para vigas de tierra vertida, donde se pudo observar que evita la fractura instantánea del material ante una compresión, sin embargo la viga sin fibra obtuvo menor resistencia al realizarse la prueba a los 7 y 28 días.

En un trabajo futuro se reducirá la fibra en dimensiones para visualizar los cambios en los resultados. También se encontró que aunque las vigas con fibra presentan una mayor resistencia a la falla no colapsan, quedando “colgadas” al finalizar las pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cristelo, N.; Glendinning, S.; Miranda, T.; Oliveira, D.; Silva, R. (2012). Soil stabilisation using alkaline activation of fly ash for self compacting rammed earth construction. *Construction and building materials*, 36, 727-735.

Jimenez, Y. G. A.; Suárez-Domínguez, E. J. (2014). Diseño de muros mololítico para un prototipo de vivienda sustentable. *CONTEXTOS*. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 8(9), 67-76.

Moreno-Chimely, L. C.; Sánchez-Medrano, M. T.; Aranda-Jiménez, Y. G.; Arvizu-Sanchez, E.; Suarez-Dominguez, K.; Suarez-Dominguez, E. J. (2021). Environmental analysis impact reduction from replacing a traditional mortar with an earth-fiber plaster.

Ramírez Arellanes, S. (2008). Propiedades mecánicas y microestructura de concreto conteniendo mucílago de nopal como aditivo natural. (Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, México

Suárez Domínguez, E. J.; Aranda Jiménez, Y. G.; Izquierdo Kulich, E. (2013). Modelo temporal de resistencia a la compresión para tierra vertida. *épsilon*, 1(23), 33-42.

Suárez-Domínguez, E. J.; Aranda-Jiménez, Y. G.; Fuentes-Pérez, C.; Zúñiga-Leal, C. (2017). Behavior of the heat capacity and ultrasonic characterization for poured earth. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(6), 18-22.

Torres, A. A.; Celis, M. C.; Martínez, M. W.; Lomelí, G. M. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Publicación Técnica No 326. Recuperado de: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt326.pdf>

Zarazua-Portes, E.; Zúñiga-Leal, C.; Gallegos-Villela, R. R.; Aranda-Jiménez, Y. G. (2016). Mechanical resistance to compression poured earth, mixed with natural latex obtained from *Tabernaemontana alba* Mill Apocynaceae. *American Journal of Engineering Research*, 5(10), 363-366.

AGRADECIMIENTOS

Los equipos de laboratorio utilizados en La presente investigación se mantuvieron y calibraron con el apoyo del CONACYT proyecto 2021 y el apoyo de fortalecimiento de infraestructura al Laboratorio de Resistencia de Materiales y Mecánica de suelos.

Se agradece al proyecto 54-INVESUAT21 por el apoyo recibido. La presentación de esta investigación se realiza con apoyo del PRODEP en convocatoria 2021 para CAEF.

AUTORES

Edgardo J. Suárez-Domínguez, doctor en el área fisicomatemática por la UNAM, con posdoctorado en Materiales. Profesor investigador y jefe de la Unidad de Posgrado de la FADU-UAT. Los últimos 5 años ha publicado más de 30 artículos en revistas indexadas y cuenta con más de 6 patentes y 5 libros publicados..

Yolanda G. Aranda-Jiménez, doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda (UAT 2010), línea de investigación en construcción con tierra. Miembro del SNI nivel I. Miembro de Proterra desde 2005. Representante de la Catedra UNESCO para la tierra en la FADU-UAT. Cuenta con varios artículos indexados y participación en congresos internacionales. Es autora del Libro *Tierra Vertida*, una técnica olvidada.

Josué F. Pérez-Sánchez, doctor en ciencias de los materiales (ITCM) y Maestro en Rehabilitación Ecoeficiente de Edificios y Barrios por la Universidad de Sevilla. Cuenta con dos libros, dos patentes en evaluación, 3 derechos de autor y más de 20 artículos publicados en los últimos 5 años.