

EFECTO EN LAS PROPIEDADES TÉRMICAS *de revoques* DE TIERRA ESTABILIZADOS CON FIBRAS DE GABAZO DE CAÑA

*Effect on the thermal properties of earthen plasters
stabilized with sugarcane bagasse fibers*

MÓNICA NAVELI CANO-MARTÍNEZ*, PEDRO RAMOS-VEÑEGAS**, ALFONSO CABRERA-MACEDO***, JORGE ARMANDO OJEDA-SÁNCHEZ****

Fecha de recibido:

1 Julio 2023

Fecha de aceptado:

10 Noviembre 2023

*Universidad de Colima,
México.

monicanayeli_cano@ucool.mx

**Universidad de Colima,
México

pramos6@ucool.mx

***Universidad de Colima,
México

cabrera_macedo@ucool.mx

****Universidad de Colima,
México

jojeda1@ucool.mx

RESUMEN. La necesidad de generar nuevos materiales, que permitan construir más edificaciones ecológicas, nos ha llevado a pensar en la intervención de materiales de construcción antiguos que por alguna razón dejaron de ser utilizados con el tiempo. El conocimiento de las propiedades físicas de dichos materiales tiene una importancia en un contexto climático cambiante, por lo que posibles mejoras, que se pueden obtener a partir de la mezcla de materiales, permitirá obtener un material con una baja conductividad térmica, entre otros. En el presente trabajo se realizaron mediciones de un revestimiento de tierra con fibra de bagazo de caña en diferentes proporciones expresadas en porcentajes, con el objetivo de determinar sus propiedades térmicas. Se generaron cuatro mezclas con porcentajes de fibras de 0, 1, 5 y 10%. Los resultados indican una disminución de la conductividad térmica para un porcentaje de 5 y 10% de fibra de caña. Lo anterior permitiría usarse como material emergente para recubrimientos que eviten los flujos de calor en la superficie expuesta al sol y su posterior transmisión al interior de los espacios.

Palabras clave: arquitectura de tierra, conductividad térmica, fibra de caña, propiedades físicas, revoque de tierra.

ABSTRACT. The need to generate new materials that allow us to build more ecological buildings has led us to think about the intervention of old construction materials that stopped being used over time. Knowledge of the physical properties of these materials is essential in a changing climate context, so possible improvements that can be obtained from the mixture of materials will allow for obtaining a material with low thermal conductivity, among others. In the present work, measurements of earthen plasters with sugarcane bagasse fiber were carried out in different proportions, expressed in percentages, to determine its thermal properties. As a result, four mixtures were generated with fiber percentages of 0, 1, 5, and 10%. The results indicate a decrease in thermal conductivity for a percentage of 5 and 10% of cane fiber. This composite material allows us to be used as an emerging material for coatings that prevent heat flows on the surface exposed to the sun and its subsequent transmission to the interior of the spaces.

Key words: earthen architecture, thermal conductivity, cane fiber, physical properties, earthen plasters.

H

oy en día, uno de los principales problemas a lo que nos enfrentamos mundialmente es el impacto ambiental, lo que se vería reflejado arquitectónicamente en el poco aprovechamiento de los recursos naturales y su uso excesivo para la fabricación de materiales constructivos convencionales, que después de concluir su vida útil se convierten simplemente en escombros no renovables, como el concreto. Esto ha llevado a promover en varios investigadores la elaboración y utilización de nuevos materiales ecológicos, sin embargo, muchos de ellos a pesar de ser una excelente idea no se han implementado debido a su elevado costo de producción. Así, pues también se ha pensado en la intervención de materiales de construcción antiguos que por alguna razón dejaron de ser utilizados (Guerrero, 2016; Guerrero, 2006).

En la arquitectura de tierra, el adobe es el material de aplicación frecuente en diferentes partes de América (Gama Castro *et al.*, 2012). Existen cinco tipos de adobes tradicional, semiestabilizado, estabilizado, terrón y prensado. El adobe tradicional es un material que consiste en una mezcla de barro seco, arena y fibras vegetales que generalmente son secados al sol. La inclusión de fibras se utiliza para evitar el agrietamiento de la mezcla, una vez curados (Austin, 1984). Determinar las características de este material permita la recuperación de significados al demostrar su vigencia y viabilidad como material de construcción (Aguilar Prieto, 2008). Las ventajas de este material son su bajo costo, uso de materiales de la localidad, reciclado e integración al medio ambiente una vez que ha concluido su uso, y su poca capacidad de absorción de calor (Caballero-Caballero *et al.*, 2018). Las desventajas es la propensión a la absorción de humedad, la cons-

trucción de adobe requiere de mantenimiento cuando están en contacto con condiciones exteriores, además de limitaciones estructurales (Caldas *et al.*, 2015), y sus propiedades sismoresistentes (Matus, 2019). Sin embargo, el adobe puede adquirir un mejoramiento de las propiedades mecánicas al incorporar fibras orgánicas vegetales como la fibra de agave o de caña (Caballero-Caballero *et al.*, 2018; Robles Rojo *et al.*, 2021), así como la durabilidad al incorporar fibras como refuerzo (Babé *et al.*, 2020, 2021). El uso del adobe como sistema de construcción, se ha reportado que provee de condiciones de confort térmico, acústico, entre otros (Escobar Copa & Holguino Huarza, 2018). En el presente trabajo se utilizaron los mismos porcentajes reportados por Robles *et al.*, (2021), sobre las propiedades mecánicas, donde determinaron un incremento en la resistencia mecánica ante la adición de fibras, que funcionan como elementos de refuerzo. Además del adobe, es necesario referirse a las construcciones con tierra como el tapial, cuyas características térmicas y mecánicas permiten un desempeño adecuado para la construcción (Bestraten *et al.*, 2011). La mezcla de tierra y fibra de cañamo presentan características de material de revoque en muros, la presencia de fibras en el revoque presenta una baja conductividad térmica (Gomes *et al.*, 2018). Los materiales de construcción con baja conductividad térmica permiten un ahorro de energía para calentamiento o enfriamiento. En el presente trabajo se reporta el valor de la conductividad y difusividad térmica de una mezcla de tierra con bagazo de caña a diferentes proporciones, con el fin de utilizarse como revoque de tierra. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio

de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima.

METODOLOGÍA

Los materiales utilizados para generar las muestras de tierra, con el fin de medir la conductividad térmica, fue tierra tomada de la comunidad de la

Caja, en el municipio de Comala, al noreste del estado de Colima, México; donde los terrenos ejidales de la comunidad son utilizados para la siembra de maíz y caña de azúcar. El bagazo de caña fue proporcionado por el laboratorio del Ingenio Azucarero perteneciente al Grupo Beta San Miguel, ubicado en el poblado de Quesería, Cuauhtémoc, al noreste del estado de Colima, México. La tierra tomada del suelo

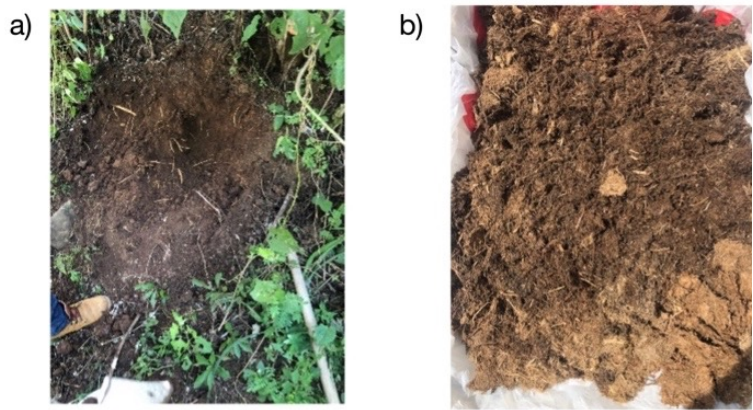


FIGURA 1. A) TIERRA-ARCILLA CON CARACTERÍSTICAS PLÁSTICAS, B) FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA.
FUENTE: FOTOGRAFÍAS DE MÓNICA NAYELI CANO MARTÍNEZ Y PEDRO RAMOS VENEGAS, 2023.

contiene una arcilla de alta plasticidad. En la figura 1 se muestra la tierra y la fibra de caña, producto de desperdicio del ingenio azucarero (BSM Beta San Miguel, 2022).

Preparación de los materiales

La tierra extraída fue cernida para separar los restos de materia orgánica o basura que pudieran contener. Para verificar su viabilidad, como material para la elaboración del material

de revoque, se realizó una prueba empírica con una muestra de dicho material; como una primera, el procedimiento de preparación fue conducido por una persona productora de adobe de la comunidad de La Caja, Colima. La prueba consiste en formar una esfera de aproximadamente 15 cm de diámetro, y se deja caer una distancia aproximada de 1 m, dependiendo del estado de la muestra al impactar con el suelo se determina si el material cuenta con las características de la mezcla para

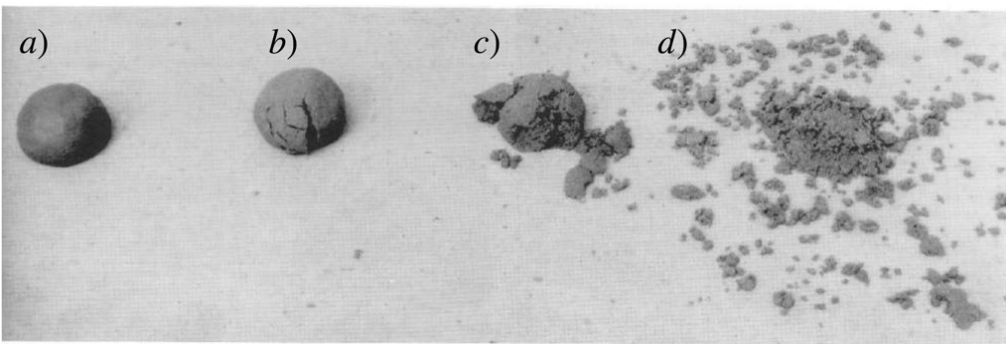


FIGURA 2. ENSAYO DE CAÍDA DE BOLA.
FUENTE: (MINKE, 2005).

usarse como material para la construcción. La evaluación de la mezcla se realizó considerando los parámetros reportados por Minke, Gernot (2005). En la figura 2 se puede apreciar los diferentes estados de la mezcla dependiendo el contenido de arena y humedad.

En la figura 2a la mezcla presenta una capacidad aglutinante debido a la alta presencia de aglutinante, en cambio, la figura 2c contiene una baja capacidad aglutinante, lo que permite ser utilizado como tierra apisonada, y en la figura 2d la mezcla contiene bajo contenido de arcilla y alta cantidad de arena, con capacidad

aglutinante insuficiente, por lo tanto inadecuado como material de construcción (Minke, 2005).

El secado de la fibra del bagazo de la caña se realizó durante 14 días mediante exposición al sol, en un horario de 10 a.m. a 5 p.m., con el fin de eliminar la humedad. La fibra era removida cada cierto tiempo, retirando las fibras de mayor tamaño. Una vez secado el material, se procedió a un cernido para obtener aproximadamente fibras de una longitud uniforme de 3 cm. En la figura 3 se muestra la fibra del bagazo de caña y el tendido para el secado.

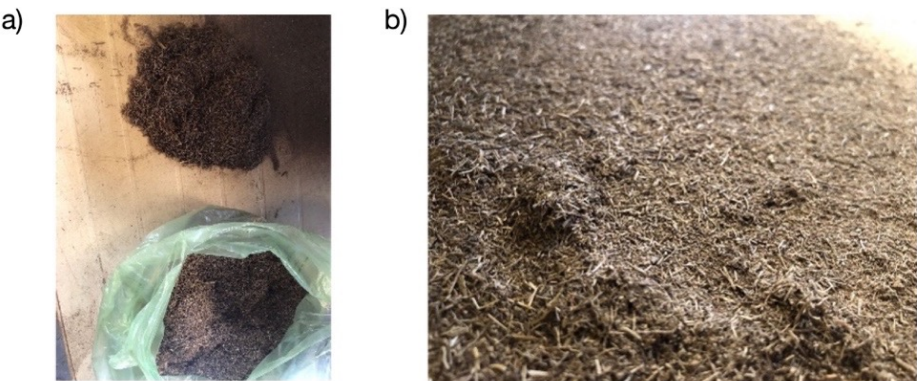


FIGURA 3. SECADO DE LA FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA.
FUENTE: FOTOGRAFÍAS DE MÓNICA NAYELI CANO MARTÍNEZ Y PEDRO RAMOS VENEGAS, 2023.

Proporción de las mezclas para los prototipos de adobe

Para la elaboración de las muestras de adobe se utilizaron cuatro tipos de mezclas en las que se sustituyó un porcentaje en peso de tierra por el peso equivalente de la fibra de bagazo de caña. La proporción de fibra de bagazo de caña son 0%, 1%, 5% y 10%, porcentajes que fueron reportados por Robles Rojo (et al., 2021), donde se analizó la resistencia mecánica. Con el objetivo de caracterizar el adobe con

materiales regionales del estado de Colima, se determinará las propiedades físicas como la conductividad térmica, difusividad, densidad, y la influencia del bagazo de fibra de caña en dichas propiedades. En la tabla 1 se muestran la cantidad de tierra en gramos que se utilizará, la cantidad en gramos de fibra que será utilizada y los mililitros de agua aproximados y los valores totales para la elaboración de la mezcla. La proporción de agua se basó en principios básicos de pruebas de materiales a base de tierra (Smith & Augarde, 2014).

TABLA 1. PROPORCIÓN EN PESO DE LAS MUESTRAS DE ADOBE

Muestras	0%			1%			5%			10%		
	Tierra (gr)	fibra (gr)	agua (ml)	tierra (gr)	fibra (gr)	agua (ml)	tierra (gr)	fibra (gr)	agua (ml)	tierra (gr)	fibra (gr)	agua (ml)
1	500	0	200	495	5	200	475	25	200	450	50	200
2	500	0	200	495	5	200	475	25	200	450	50	200
3	500	0	200	495	5	200	475	25	200	450	50	200
Total	1500	0	600	1485	15	600	1425	75	600	1350	150	600

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las características físicas de las mezclas se realizó con el equipo analizador de propie-

dades térmicas KD2Pro de Decagon Devices (Decagon Devices, 2013). El equipo, requiere

que el tamaño de la muestra de material para la medición de las propiedades térmicas, sea de al menos una pulgada cuadrada de área y al menos 6 cm de altura, dependiendo del sensor seleccionado. Es importante mencionar que dicho equipo cuenta con sensores de aguja de diferentes longitudes y diámetros, dependiendo del tipo de material. La muestra se realizó en un molde de plástico en forma de cono truncado de 11 cm de base mayor, 8 cm de base menor y

una altura de 7 cm. Para facilitar el desmolde de las muestras la superficie interna del recipiente fue humedecido con agua y cubierto con aserrín para evitar la adherencia de la mezcla a las paredes del molde, antes de cada moldeo. El procedimiento para la elaboración de cada mezcla inicia en la colocación de materia dentro de bolsas para realizar el posterior pesaje de las cantidades requeridas por cada porcentaje, con la ayuda de una báscula digital.



FIGURA 4. PESAJE DE LOS MATERIALES PARA CADA MUESTRA.
FUENTE: FOTOGRAFÍA DE MÓNICA NAVELI CANO MARTÍNEZ Y PEDRO RAMOS VENEGAS, 2023.

Para la elaboración del mortero de revoque, se siguió la metodología tradicional aplicada en la comunidad de La Caja, Colima, que consiste en la mezcla de los materiales en seco, agregando agua en pequeñas cantidades para humedecer los materiales, una vez humedecido se agregó un aditivo que, aunque suele ser paja en este caso

fue aserrín. Una vez alcanzada la consistencia adecuada, se procedió al vaciado en el molde, cuidando que no se quedara aire en el interior del molde, para posteriormente desmoldar y colándolos en una base rígida forrada con bolsa. En la figura 5 se muestra el proceso de preparación de la mezcla.



FIGURA 5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.
FUENTE: FOTOGRAFÍA DE MÓNICA NAVELI CANO MARTÍNEZ Y PEDRO RAMOS VENEGAS, 2023.

Las muestras fueron secadas directamente al sol durante un lapso de dos semanas, recibiendo el sol la primera semana por una cara y la siguiente semana por la otra, todo ello en periodos de 9 a.m. a 5 p.m. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la

Universidad de Colima, mediante el equipo Analizador de Propiedades Térmicas KD2Pro de Decagon Devices, donde el equipo consta de un data logger alimentado por 4 baterías AA, con un rango de temperatura para su adecuado desempeño de 0 a 50 °C. El sensor de doble aguja SH-1 presenta la siguientes caracterís-

tas: 1.3 mm de diámetro por aguja, 6 mm de espaciamiento entre agujas y 30 mm de longitud. Este sensor es adecuado para suelos húmedos, suelos secos, polvos y materiales granulares, además de contar con la capacidad de medir la conductividad térmica en [W/mK] y la difusividad térmica en [mm²/s]. El rango de medición de la conductividad térmica es 0.02 a 2 [W/mK] con una precisión de ±10%, para la difusividad térmica, el rango es de 0.1 a 1 [mm²/s] con una precisión de ±10% para conductividades mayores a 0.1 [W/mK].

Se realizaron las perforaciones a cada muestra con ayuda de una broca de 1/16 de pulgada, que corresponde al diámetro de la aguja; a una profundidad de 30 mm, longitud que coincide con la longitud de la aguja. Con el fin de facilitar el contacto térmico entre la aguja y el material de la probeta se utilizó una grasa de silicón para transferencia térmica. En la figura 6 se aprecia el sensor SH-1 y el equipo KD2PRO.

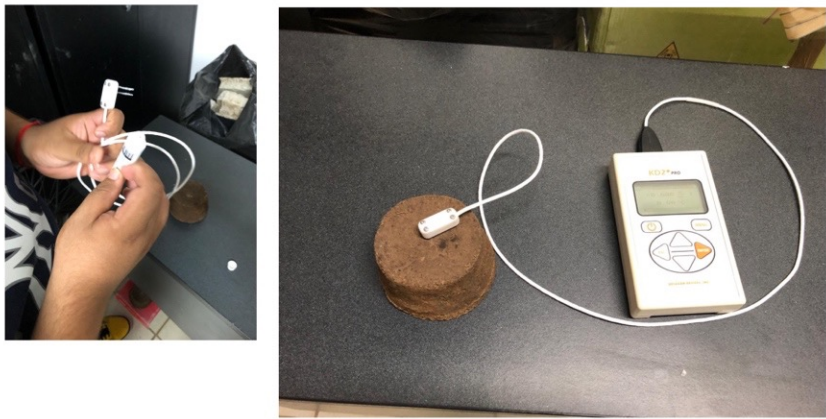


FIGURA 6. SENSOR SH-1 Y EQUIPO ANALIZADOR DE PROPIEDADES TÉRMICAS KD2PRO.
FUENTE: FOTOGRAFÍA DE JORGE ARMANDO OJEDA SÁNCHEZ, 2023.

RESULTADOS

Para realizar las mediciones de los cuatro tipos de revoques de tierra con fibras de bagazo de caña, se usaron los porcentajes 0, 1, 5 y 10%. Se generaron 3 muestras por cada mezcla obteniendo un total de 12 prototipos. En la tabla 3 se puede apreciar los datos correspondientes a la conductividad térmica (K), la difusividad térmica (D), la densidad de las muestras (ρ) y el calor específico (C_P). Es importante mencionar que con el valor de la difusividad es posible determinar el valor del calor específico, mediante la definición de la difusividad $D=K(\rho C_P)$. La densidad se obtuvo mediante el cociente de la masa en kilogramos y el volumen de la muestra. De las mediciones de las 3 muestras correspondientes a 0%, que corresponde al adobe tradicional y será el patrón de referencia, las 3 muestras correspondientes a 1% de agregado, las 3 muestras de 5% de agregado y las 3 muestras de 10% con agregado.

En la que se puede apreciar lo siguiente: en el caso de la muestra control que corresponde al 0%, la conductividad térmica varía en un rango entre 0.371 a 0.402 [W/mK], mientras que la difusividad varió entre 0.212 y 0.420 [mm²/s], mantuvo una densidad de 1014.39 [kg/m³] y un calor específico entre 943.56 a 1832.12 [J/kg·K]. Así mismo, se puede observar en la tabla 2 los valores correspondientes a las mediciones de las 4 diferentes mezclas que fueron analizadas y los 3 prototipos correspondientes; donde se puede comparar la variación de uno con respecto a otro.

TABLA 2. PROPIEDADES TÉRMICAS PARA UNA PROPORCIÓN DE 0%

	Muestras	K	D	De	Cp
		W/(m·K)	mm²/s	kg/m3	J/kg·k
0%	Muestra 1	0.371	0.229	1014.39	1,597.10
	Muestra 2	0.394	0.212	1014.39	1,832.12
	Muestra 3	0.402	0.420	1014.39	943.56
1%	Muestra 1	0.216	0.183	804.51	1,467.12
	Muestra 2	0.245	0.197	804.51	1,545.83
	Muestra 3	0.200	0.200	804.51	1,242.98
5%	Muestra 1	0.259	0.186	746.21	1,866.03
	Muestra 2	0.243	0.155	746.21	2,100.91
	Muestra 3	0.236	0.167	746.21	1,893.77
10%	Muestra 1	0.195	0.176	664.40	1,667.10
	Muestra 2	0.207	0.158	664.40	1,971.30
	Muestra 3	0.195	0.161	664.40	1,822.42

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se puede apreciar que el valor promedio para la muestra de 0% de la conductividad térmica es de 0.389 [W/m·K], difusividad de 0.287 [mm²/s], densidad de 1014.39 [kg/m³], y calor

específico de 1,336.17 [J/kg·K]. En la tabla 3 se observan los valores promedio de las proporciones de 1,5 y 10%.

TABLA 3. VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS A DIFERENTES PROPORCIONES DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA

Muestras	K	D	De	Cp
	W/(m·K)	mm²/s	kg/m3	J/kg·k
0%	0.389	0.287	1,014.39	1,336.17
1%	0.220	0.193	804.51	1,416.86
5%	0.246	0.169	746.21	1,950.66
10%	0.199	0.165	664.40	1,814.71

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para las muestras con 1% de fibras, los valores promedio son los siguientes: en cuanto a conductividad térmica fue de 0.220 [W/m·K], en comparación con los valores promedio de la muestra control que fue de 0.389 [W/m·K], se observa que el agregado de 1% de fibra de bagazo de caña muestra una conductividad térmica menor. En cuanto a difusividad el valor promedio de las muestras de 1% es de 0.193 [mm²/s], el cual muestra una disminución en comparación con la muestra control que fue de 0.287 [mm²/s]. Hablando de la densidad (De) el valor promedio de la muestra de 1% fue de 804.51 [kg/m³], la cual presenta un decremento comparado con el caso de nula presencia de fibra, en cuanto a calor específico, la muestra experimental obtuvo un valor promedio de 1,416.86 [J/kg·K], comparado

con la muestra control, la cual fue de 1,336.17 [J/kg·K], la cual presenta un valor mayor.

Para las muestras con 5% de fibras, los valores promedio son los siguientes: en cuanto a conductividad térmica fue de 0.246 [W/m·K], en comparación con la proporción de 0% se observa un menor valor de conductividad térmica. En cuanto a difusividad el valor promedio de las muestras de 5% es de 0.169 [mm²/s], el cual muestra una disminución en comparación con la muestra control que fue de 0.287 [mm²/s]. Hablando de la densidad (De), el valor promedio de la muestra de 5% fue de 746.21 [kg/m³], el calor específico de la muestra experimental obtuvo un valor promedio de 1,950.66 [J/kg·K], cuyo valor es mayor comparado con la muestra de adobe tradicional.

Para las muestras con 10% de fibras, que fueron las que presentaron un mejor comportamiento, se obtuvieron valores promedios de conductividad térmica de 0.199 [W/m·K], que representa una disminución de casi la mitad del valor de la muestra control.

La difusividad correspondiente presenta un valor de 0.165 [mm²/s], cuyo valor es menor que el valor de referencia. La densidad obtenida es de 664.40 [kg/m³] y un calor específico la muestra experimental obtuvo un valor de 1814.71 [J/kg·K].

CONCLUSIONES

El material compuesto de tierra con bagazo de fibra de caña presenta una disminución en conductividad térmica, conforme se incrementa el porcentaje de la fibra. Este resultado coincide con lo reportado en la literatura, en el uso de fibras de cañamo. Este resultado complementa el análisis del comportamiento mecánico realizado por Robles Rojo (*et al.*, 2021), quien reporta un incremento del 20% en las propiedades mecánicas a un porcentaje del 10% de fibras. Los resultados de las propiedades térmicas son una primera aproximación a registrar el uso de materiales orgánicos de desecho para uso como material de revoque. Es claro que aún restan más estudios respecto a la porosidad, absorción, contracción, granulometría de la tierra y aglutinantes utilizados. La inclusión de dicho material de desperdicio, permite definir un material aislante térmico, con la posibilidad de ser utilizado como recubrimiento, el tamaño de la fibra permite generar una mezcla con una adhesión adecuada. Este recubrimiento, aplicado selectivamente en las superficies, permite minimizar las ganancias térmicas en muros, dependiendo de la orientación de la edificación. Se considera que este material podría utilizarse para la elaboración de revoques de tierra aplicada a ladrillos de muros divisorios, muros, techos, tapial, etc.; al ser una mezcla liviana una vez seca. La implementación de esta mezcla podría ser una opción, debido a la implementación de materiales locales que pueden ser accesibles sin explotar los recursos naturales, con un costo asociado menor comparado con otros materiales industrializados. Además de minimizar el impacto ambiental y el uso excesivo de recursos naturales.

FUENTES DE CONSULTA

- Aguilar Prieto, B. (2008), *Construir con adobe: Fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo*, Trillas, México.
- Austin, G. S. (1984), "Adobe As a Building Material", *New Mexico Geology*, vol. 6, núm. 4, pp. 69-71.
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Kola, B. & Djongyang, N. (2021), "Effect of neem (*Azadirachta indica*) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks", *Energy Reports*, vol. 7, núm. 5, pp. 686-698. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.085>.
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Boum, R. B. E. & Djongyang, N. (2020), "Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (*sorghum bicolor*)", *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00422. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00422>.
- Bestraten, S., Hormías, E. & Altemir, A. (2011), "Construcción con tierra en el siglo XXI", *Informes de la Construcción*, vol. 63, núm. 523, pp. 5-20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>.
- BSM Beta San Miguel (2022), BSM Beta San Miguel: Ingenio azucarero en Cuauhtémoc, Queseria. Colima, México. Disponible en <https://www.bsm.com.mx/queseria.html>, consultado el 22 de junio de 2023.
- Caballero-Caballero, M., Chinas-Castillo, F., Montes Bernabé, J. L., Alavéz-Ramírez, R., & Silva Rivera, M. E. (2018), "Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes", *Journal of Natural Fibers*, vol. 15, núm. 4, pp. 575-585. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1349709>.
- Decagon Devices (2013), KD2 pro - Thermal Properties Analyzer: Owner Manual.
- Escobar Copa, K. U. & Holguino Huarza, A. (2018), "Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú", *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 20, núm. 3, pp. 289-300. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.393>.
- Caldas, V. M., Jara, D. F. y Rodas, T. E. (2015), *Las innovaciones tecnológicas como respuesta a las debilidades y aprovechamiento de potencialidades en el sistema constructivo tradicional del adobe*, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Guerrero, L. F. (2016), "México: La pérdida de la arquitectura de adobe en México", *Heritage at Risk*, September. <https://doi.org/10.11588/hr.2008.0.19867>.
- Guerrero, L. F. (2006), "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva", *Apuntes*, vol. 20, núm. 2, pp. 182-201.
- Gama Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá Martínez, R., Cabadas Báez, H., Sánchez Pérez, S., López Aguilar, F. & Vilanova de Allende, R. (2012), "Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica", *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 64, núm. 2, pp. 177-188. <https://doi.org/10.18268/bsgm2012v64n2az>.
- Gomes, M. I., Faria, P. & Gonçalves, T. D. (2018), "Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers", *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 2401-2414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170>.
- Matus, R. A. (2019), "Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe", *Acta Universitaria*, vol. 29, pp. 1-13.
- Minke, G. (2005), *Manual de construcción en tierra*, Editorial Fin de Siglo, Montevideo.
- Robles Rojo, A., Arceo Díaz, S., Ri-cardo Moreno Peña, J. & Zuleica Chávez Pérez, D. (2021), "Análisis de la resistencia mecánica ante compresión de bloques de adobe con agregados de fibra de bagazo de caña", *Revista Ingeniantes*, vol. 1, núm. 2, pp. 54-59.
- Smith, J. C. & Augarde, C. (2014), "Optimum water content tests for earthen construction materials", *Proceedings of the ICE - Construction Materials*, vol. 167, núm. 2, pp. 114-123. <https://doi.org/10.1680/coma.12.00040>.