

Análisis termo-mecánico de bloques de adobe adicionado con bagazo de caña y café

RESUMEN: En la actualidad uno de los grandes desafíos de la arquitectura y la construcción es el desarrollo de materiales sostenibles ambiental y económicamente, que posean las funciones físicas necesarias de resistencia estructural, y que puedan proveer un ambiente térmico adecuado. A partir de los Objetivos para el Desarrollo Sustentable de la ONU, principalmente el 12, "Consumo y la producción responsable".

En el presente trabajo, se analiza el uso del bagazo de caña y café, considerados desperdicio orgánico, con el fin de aplicarse a elementos de construcción basados en tierra. La tierra, como material de construcción, ofrece beneficios como su disponibilidad local, baja huella de carbono y capacidad de regulación térmica, aunque su uso ha sido subestimado en las prácticas constructivas modernas.

El método utilizado fue el análisis de los desechos con mayor presencia dentro de la región considerando su previa utilización en estudios similares, proporcionando la mezcla de tierra y las fibras en distintas proporciones y después fueron sometidas a pruebas de compresión y conductividad térmica.

La variación de los materiales a diferentes proporciones de estos agregados a la tierra genera cambios en sus propiedades térmicas y mecánicas. Para un 5 % de bagazo de caña y café se presentó un incremento a la resistencia a la compresión, mientras que un 15 % en proporción de estos agregados genera un mejor aislamiento térmico.

PALABRAS CLAVE: Adobe, bagazo de caña, bagazo de café, Resistencia a la compresión, conductividad térmica.



Colaboración

Luis Mateo Chavarín Verduzco; Ximena Trejo Contreras; Dominga Zuleica Chávez Pérez; José Ricardo Moreno Peña; Jorge Armando Ojeda Sánchez, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 10 de marzo de 2025
Fecha de aceptación: 29 de mayo de 2026

Autor de Correspondencia: Dominga Zuleica Chávez Pérez

ABSTRACT: Nowadays, one of the major challenges in architecture and construction is the development of materials that are environmentally and economically sustainable, in addition to fulfilling necessary physical functions such as structural strength and providing adequate thermal comfort. Based on the UN's Sustainable Development Goals, particularly responsible consumption and production, there is a growing interest in reviving traditional techniques such as the use of earth in construction, which has been overshadowed by industrialized materials. Earth, as a construction material, offers benefits such as local availability, low carbon footprint, and thermal regulation capabilities, although its use has been underestimated in modern construction practices. In this study, the use of sugarcane bagasse, considered organic waste, coffee waste, and earth is analyzed for application in earth-based construction elements. The method used involved analyzing the most prevalent waste materials in the region and their prior use in similar studies, creating mixtures of earth and fibers in different proportions, which were then subjected to compression and thermal conductivity tests.

The variation of materials at different proportions of these additives to the earth results in changes in their thermal and mechanical properties. For a 5 % proportion of sugarcane bagasse and coffee waste, an increase in compressive strength was observed, while a 15 % proportion of these additives provided better thermal insulation.

KEYWORDS: Adobe, sugarcane bagasse, coffee husk, compressive strength, thermal conductivity.

INTRODUCCIÓN

La investigación y desarrollo de materiales para la construcción que ayuden a mejorar las condiciones térmicas interiores, así como la resistencia mecánica proporcionando mayor seguridad estructural, además de reducir las emisiones de CO₂ durante su fabricación es una de las alternativas para reducir las emisiones que produce

la industria de la construcción que equivalen alrededor del 38 % de CO₂, anuales [1] de los cuales la fabricación de cemento produce un 7 % de CO₂, el acero 7.2 % CO₂, y de vidrio entre el 7-9 % CO₂ de las emisiones totales [2].

En investigaciones recientes se ha demostrado como la incorporación de desechos orgánicos provenientes de la agricultura como lo son el bagazo de caña y café puede aumentar algunas propiedades de los materiales, ya sea del concreto o del adobe.

Se ha identificado que al agregar bagazo de caña en bloques de adobe en ciertas proporciones aumenta la resistencia a la compresión y a la elasticidad [3], de igual manera la incorporación de este material a revocos de tierra en proporciones de 5 % y 10 % se disminuye la conductividad térmica [4].

En otros estudios se ha descubierto que la incorporación de ceniza de bagazo de caña mejora la resistencia del concreto en pequeños porcentajes que van del 5 al 15 % [5].

En el caso del bagazo de café sometido a un proceso para convertirlo en carbón activado y su incorporación al concreto en una proporción del 0.5 % aumenta un 48 % de la resistencia a los 7 días, mientras que al agregar 1.5 % se alcanza una resistencia del 27 % a los 28 días [6]. En otro estudio se demostró que al someter al bagazo de café a un proceso de pirólisis la resistencia a la compresión aumenta [7].

Por los hallazgos reportados, el uso del bagazo de caña y el café, como desperdicio orgánico, a proporciones controladas, mezclados con tierra, pueda obtenerse materia prima con propiedades aumentadas, tales como la resistencia a la compresión y una capacidad de aislamiento térmico.

En el presente trabajo, se utilizó dichos desperdicios orgánicos, para generar bloques de prueba, para determinar su comportamiento mecánico (resistencia) y propiedades térmicas (conductividad térmica), mediante equipo especializado, con el objetivo de determinar la influencia de estos agregados, para su uso con fines de construcción.

MATERIAL Y MÉTODOS

Debido a la producción agrícola de caña de azúcar y café cereza en el occidente de México, donde Colima representa la producción de 2,905.07 hectáreas de café cereza y 16,088.24 hectáreas de caña de azúcar [8].

Recolección de los materiales

El bagazo de café: se recogió del uso diario y de algunos negocios locales, al ser una muestra pequeña la cantidad se recolectó en un mes y medio como se

muestra en la Figura 1. Limitando el mismo al café local producido en el Municipio de Comala, que produce alrededor de 1,398.00 de hectáreas de café cereza.



Figura 1. Recolección de bagazo de café.
Fuente: Elaboración propia.

Bagazo de caña: El municipio de Cuauhtémoc, Colima, produce alrededor de 9,856.00 ha de caña de azúcar. El bagazo de caña se recolectó directamente de ingenio de Quesería, Cuauhtémoc como se aprecia en la siguiente Figura 2.



Figura 2. Recolección de bagazo de caña directamente del ingenio de Quesería.
Fuente: Elaboración propia.

La tierra: en el estado de Colima existe una diversidad de tipos de suelo aptos para los distintos sistemas constructivos con tierra. El mejor suelo para la fabricación de adobe es de Comala y Villa de Álvarez, ya que su porcentaje de arena, limo y arcilla son los adecuados para la fabricación de adobe [9]. El material se recolectó de una fábrica de ladrillo rojo, por lo cual ya viene limpio sin ningún tipo de materia orgánica, como hojas, ramas, semillas. En la Figura 3, se muestra la ubicación de la fábrica de ladrillos.

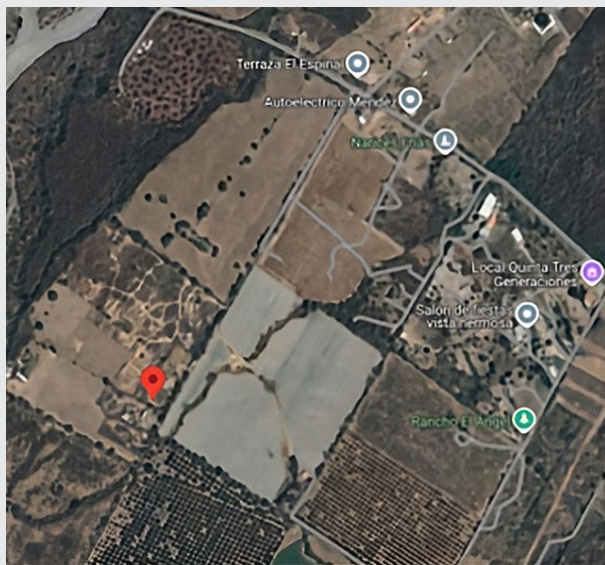


Figura 3. Ubicación de la fábrica de ladrillo.
Fuente: Recuperado de Google Maps 2024.

Preparación de los materiales

Curado del bagazo de café: una vez recolectada una cantidad considerable del café se lavó con agua destilada para eliminar los residuos y se dejó secar durante las 10 hora diarias y el resto a la sombra para evitar exceso de humedad ambiental durante 15 días, como se ve en la Figura 5 (a).

Curado del bagazo de caña: se lavó con agua y jabón neutro para retirar el exceso de azúcares y otras impurezas, se dejó secar durante 10 horas de luz durante el resto a la sombra para evitar la absorción de humedad nocturna, este proceso se repitió durante 15 días, una vez culminado el proceso de secado, se cortó con tijeras en segmentos de 2.5 cm. Procurando mantener el mismo grosor, como se ve en la Figura 4 (b).

Cabe mencionar que para efectos de esta investigación el bagazo de caña y café solo se incorporaron a la tierra con un proceso de lavado y secado al sol durante las horas de luz por un periodo de 15 días, retomando los procesos empíricos de la incorporación de material vegetal a la fabricación de adobe, con la finalidad de que estos materiales puedan ser replicables.

Proporción de las mezclas: para la preparación de las muestras se tomó como referencia los datos de las investigaciones previas donde de acuerdo con el peso volumétrico de la tierra, por cada 200 g de la mima de agrego 1 %. 5 % y 10 % de bagazo de caña [3-4], sin embargo, para esta investigación se hicieron algunas modificaciones, se consideró un peso volumétrico neto de la tierra al cual se le agregaría el porcentaje de los agregados naturales al 1%. 5%. 10% y 15% en total, es decir la mitad de cada uno de los porcentajes corresponde al porcentaje neto agregado a la mezcla.

El peso volumétrico de la tierra es igual a 1,211 g. El del bagazo de caña es de 122 g y el del bagazo de café de 305 g. en la Tabla 1, se muestra las cantidades de tierra y agregados utilizados para cada proporción. La nomenclatura T, corresponde a la tierra, BA al bagazo de caña y BC al bagazo de café.

Tabla 1. Porcentajes de las mezclas.

%	Cantidad de muestras	Material por muestra		
		T(g)	BA(g)	BC(g)
0%	4	1,211	-	-
1%	4	1,209	0.61	1.52
5%	4	1,200	3.05	7.62
10%	4	1,190	6.1	15.25
15%	4	1,179	9.15	22.87

Fuente: Elaboración propia.

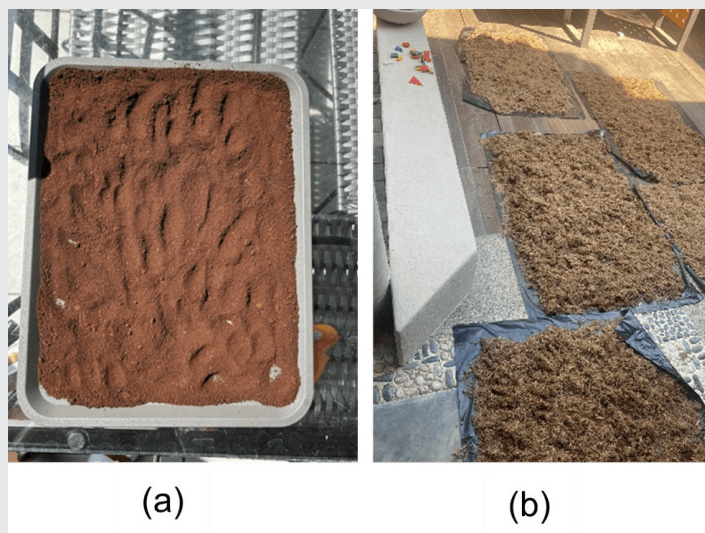


Figura 4. Curado del bagazo de café (a) y del bagazo de caña (b).

Fuente: Elaboración propia.

Fabricación de las probetas

Se fabricaron un total de 4 probetas por mezcla con un total de 20 bloques de adobe, para ello fue necesario el apoyo de una báscula, un molde de madera con capacidad de 8 bloques, cada cavidad tiene una dimensión de 10 x 10 x 10 cm, dimisión recomendada para ensayos mecánicos de especímenes de tierra, según lo mencionado por la normas Peruana E. 080 [11], como se ve en la Figura 5, cubetas para preparar las mezclas, recipientes para separar el bagazo, cuchara de albañil, varilla para remover la mezcla.

Primero se pesó el material por cada una de las muestras de acuerdo con la Tabla 1. Posteriormente se mezcla en seco el material para obtener una mezcla homogénea, después se incorporaron 150 ml de agua, se mezcló nuevamente y se vertió la mezcla al molde previamente recubierto con aceite requemado, con la ayuda de la varilla se vibra la mezcla para evitar huecos,

una vez listas las muestras, se dejaron reposar durante 2 horas al sol antes de desmoldar, en la Figura 6 se observan los pasos para la fabricación de las probetas de cien por ciento de tierra. Se limpio correctamente el molde, se engraso nuevamente y se repitió el procedimiento hasta obtener todas las muestras.



Figura 5. Molde para de madera para la fabricación de los blocks.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Fabricación de las probetas de tierra.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizada la producción de los bloques se dejaron secar durante 10 horas diarias al sol por las noches se resguardaron bajo techo para evitar exceso de humedad durante 15 días, como se ve en la Figura 7.



Figura 7. Muestras de adobe, bagazo de caña y café.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis mecánico

La de resistencia a la compresión y deformación se realizó en el laboratorio de mecatrónica en las instalaciones del Instituto tecnológico de Colima. Para ello se utilizó la máquina para esfuerzos y deformaciones Shimadzu UH-500KNI [10] que se ve en la Figura 8.



Figura 8. Máquina para esfuerzos y deformación Shimadzu UH-500KNI.

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma Peruana E. 080 [11] y la ASTM E8M [12]. El esfuerzo normal aplicado por el equipo se describe en la ecuación 1. Donde; σ es el esfuerzo normal, F, es la fuerza aplicada que se divide entre el área de la superficie de contacto A, en este caso de 100 cm².

$$\sigma = F/A \quad \text{Ec. (1)}$$

Análisis térmico

El análisis térmico se llevó a cabo en el laboratorio de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima, ubicado en Coquimatlán, Colima. Se utilizó el analizador de propiedades térmicas, KD2 Pro [13], que mediante el sensor KS-1, se tomaron mediciones de la conductividad y resistividad térmica de materiales sólidos. El dispositivo se puede apreciar en la Figura 9. La medición de dichas propiedades requiere se realice una perforación en el centro de cada una de las muestras, el sensor tiene una aguja de un diámetro de 1.2 mm y una longitud de 60 mm. Se tomaron tres muestras por cada una de las probetas.



Figura 9. KD2 Pro.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos por cada uno de los porcentajes aplicando el esfuerzo normal (σ) en kg y la deformación (ϵ) en mm, así como los promedios de ambos resultados.

Tabla 2. Resultados mecánicos.

Porcentajes	Fuerza (kg)	Esfuerzo normal	Deformación (ϵ)	Promedio σ	Promedio (ϵ)	Desviación estándar del esfuerzo normal (σ)
0%	2,355	23.55	1.70	23.25	2.37	2.81
	2,030	20.3	2.00			
	2,590	25.9	3.40			
1%	2,386	23.86	3.40	25.56	3.23	3.30
	2,936	29.36	2.30			
	2,345	23.45	4.00			
5%	3,120	31.2	0.80	29.34	1.43	1.32
	2,855	28.55	1.80			
	2,978	29.78	1.70			
10%	2,416	24.16	3.50	24.50	2.67	0.56
	2,549	25.49	2.20			
	2,386	23.86	2.30			
15%	1,305	13.05	1.40	14.99	2.10	4.26
	1,203	12.03	3.00			
	1,988	19.88	1.90			

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10, se observa el comportamiento por cada una de las muestras, en el caso de la muestra testigo de los bloques de cien por ciento de tierra el resultado más bajo de los esfuerzos fue de 20.3 kg/cm², y el más alto de 25.9 kg/cm², en el caso de los bloques con 1% de bagazo de caña y café el resultado más bajo es de 23.45 kg/cm², mientras que el más alto es de 29.36 kg/cm², en el caso de las muestras de 5 % el resultado más bajo es de 28.55 kg/cm², mientras que el más alto es de 32.2 kg/cm², para las muestras de diez por ciento el resultado los resultados rondan entre 23.86 kg/cm² y 25.49 kg/cm², finalmente, para las muestras de quince el resultado más bajo es de 12.03 kg/cm² y el más alto 19.05 kg/cm².

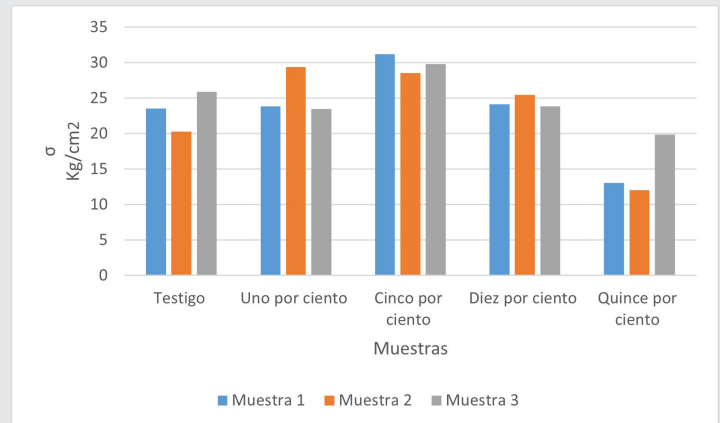


Figura 10. Grafica de la comparación del comportamiento a la compresión de las distintas proporciones de tierra y bagazo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 10, las muestras que obtuvieron el mejor comportamiento son las de 5 % de bagazo de caña y café, incluso por encima de las probetas de 100 % de tierra, seguidas por las muestras de 1 %, posteriormente, las muestras de 10 %, finalmente, las muestras con 15 % de bagazo son las que obtuvieron los resultados menos favorables, incluso por debajo de las muestras de 100 % de tierra.

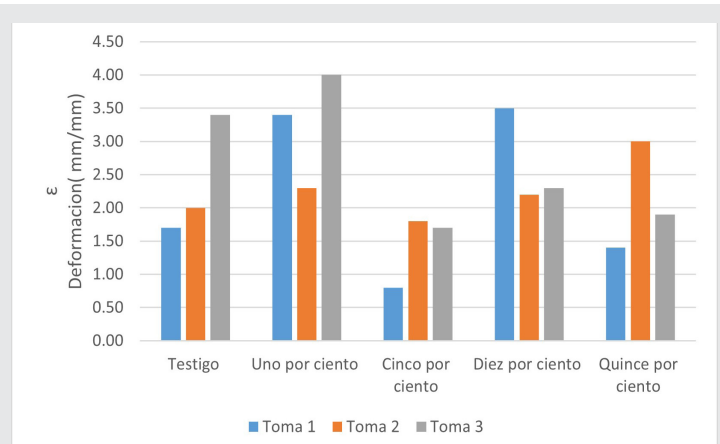


Figura 11. Grafica de la deformación en los bloques de las distintas proporciones de tierra y bagazo.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11, se muestra la deformación en mm de las muestras al momento de aplicar la fuerza, para los bloques de cien por ciento de tierra la deformación oscila entre los 1.7 a los 3.50 mm, para las muestras de 1 % la deformación va de los 2.3 a los 4.0 mm, para las muestras de 5 % es de 0.8 a 1.8 mm, en el caso de las muestras 10 % la variación es entre 2.2 a 3.5 mm, finalmente, para las muestras de 15 % se tiene una deformación entre 1.4 a 3.0 mm.

En el caso de la conductividad térmica (K) los valores obtenidos se observan en la Tabla 3, donde se obtuvo un promedio de 0.46 W/mK, para las muestras de 0 %, de 0.44 W/mK para las muestras de 1 %, de 0.49 W/mK para las muestras de 5 %, de 0.46 W/mK para las de 10 % y 0.27 W/mK para las de 15 %.

Tabla 3. Conductividad térmica (K).

0%	1%	5%	10%	15%
0.46	0.44	0.49	0.46	0.27

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para un mejor aislamiento térmico la mezcla de 15 % obtuvo una menor conductividad térmica con 0.27 W/mK. Cuando un material cuenta con una conductividad térmica alta facilita el paso de calor, mientras que una conductividad térmica baja disminuye la capacidad para el paso de calor.

CONCLUSIONES

Cuando se agrega una cantidad moderada y proporcional de bagazo de caña y café, en relación con el peso volumétrico de la tierra, se mejora la resistencia a la compresión de las muestras en comparación con las compuestas únicamente de tierra. En particular, las muestras con un 5 % de bagazo de caña y café, y un 95 % de tierra, mostraron el mejor comportamiento tanto en resistencia a la compresión como en deformación. No obstante, también se observó que es aceptable incluir un porcentaje menor (1 %) o mayor (10 %) de bagazo. Sin embargo, cuando la proporción de bagazo es demasiado alta, la resistencia a la compresión disminuye significativamente, incluso por debajo de las muestras que contienen solo tierra.

En cuanto a la conductividad térmica, se encontró que, al aumentar la cantidad de bagazo, las muestras presentan mejores propiedades como aislante térmico que equivale al 15 % del bagazo de caña y café y el 85 % de tierra.

Entonces si se requiere de un material con un buen comportamiento mecánico se recomienda el uso 5 % de bagazo de caña y café, si por el contrario lo que se desea es un material con baja conductividad térmica, se recomienda el uso de 15 % de bagazo de caña y café y el 85 % de tierra.

Aunque es posible trabajar con proporciones mayores (10 %), debe tenerse en cuenta que una cantidad excesiva de bagazo disminuye significativamente la resistencia a la compresión. Por ello, se sugiere realizar ajustes cuidadosos en las proporciones, dependiendo de las prioridades del proyecto (como aislamiento térmico o capacidad de carga).

AGRADECIMIENTOS

A los encargados del laboratorio de mecatrónica del Tecnológico Nacional de México, campus Colima por el apoyo otorgado para realizar las pruebas mecánicas. Al Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima por brindar las facilidades necesarias para la ejecución de las pruebas térmicas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] United Nations Environment Programme. (2024). 2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations -Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>

[2] United Nations. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*.

[3] Robles, A., Arceo, S., Moreno, J. R., Chávez, D. Z., & Ojeda, J. A. (2021). Análisis de la resistencia mecánica ante compresión de bloques de adobe. 1(2),54-59.

[4] Cano-Martínez, M. N., Ramos-Venegas, P., Cabrera-Macedo, A., & Ojeda-Sánchez, J. A. (2024). Efecto en las propiedades térmicas de revoques de tierra estabilizados con fibras de bagazo de caña. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 19(35), 79. <https://doi.org/10.36677/legado.v19i35.20514>.

[5] Quito, S., Macías, K., & Guerra, J. (2022). Ceniza del bagazo de caña de azúcar para mejorar la resistividad y resistencia del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. 5(10). 5-18.

[6] Na, S., Lee, S., & Youn, S. (2021). Experiment on Activated Carbon Manufactured from Waste Coffee Grounds on the Compressive Strength of Cement Mortars. *Symmetry*, 13(4), 619.

[7] Roychand, R., Kilmartin-Lynch, S., Saberian, M., Li, J., Zhang, G., & Li, C. Q. (2023). Transforming spent coffee grounds into a valuable resource for the enhancement of concrete strength. *Journal of Cleaner Production*, 419.

[8] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierre-agricola/>

[9] Pérez, D. Z. C., Peña, J. R. M., Ochoa, M. N. C., Arellano, J. F. N., Solorsano, L. A. G., & Diaz, S. A. (2022). Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra mediante pruebas de campo.14(2).336-363.

[10] SHIMADZU. (2015). Fixed Compression Plates. 12 de mayo de 2021 de SHIMADZU sitio web: https://www.ssi.shimadzu.com/sites/ssi.shimadzu.com/files/test/accessory/compression/n9j25k0000j-tvra-att/C224-E100A_FixedCompressionPlates.pdf.

[11] Ministerio De Vivienda, Construcción Y Saneamiento. (2017). Norma E.080 Diseño Y Construcción Con Tierra Reforzada. chrome-extension://efaid-nbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf

[12] Kardak, A. A., & Sinclair, G. B. (2020). Stress Concentration Factors for ASTM E8/E8M-16a Standard Round Specimens for Tension Testing. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(1), 711-719.

[13] Decagon Devices (2013), KD2 pro - Thermal Properties Analyzer: Owner Manual.

