

Bagazo de maguey y polvo de piedra volcánica “tepezil” como estabilizadores de tierra arcillosa proveniente de Yagul, Oaxaca

Maguay bagasse and volcanic stone powder “tepezil” as stabilizers of clay soil from Yagul, Oaxaca.

H.Z. López Calvo¹, L.M. Ángel Pérez², H. Gómez Barranco^{3*}, L.C. Rodríguez Sanchez⁴

**Autor de correspondencia*

DOI: 10.56643/rcia.v4i2.208

Como citar este artículo: López Calvo et al. (2025). Bagazo de maguey y polvo de piedra volcánica “tepezil” como estabilizadores de tierra arcillosa proveniente de Yagul, Oaxaca. Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura. 4(2). 8-28. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v4i2.208>

RESUMEN

En el presente artículo se describen los trabajos encaminados a evaluar los efectos de la adición de fibra de bagazo de maguey (FBM), obtenida como subproducto de la elaboración de mezcal, combinada con polvo de piedra volcánica (PPV), conocido con el nombre de tepezil, como estabilizadores de las propiedades físico-mecánicas de tierra arcillosa proveniente de la comunidad de Yagul, Oaxaca. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la tierra seleccionada fue clasificada como arcillas inorgánicas de mediana plasticidad. Durante la fase experimental se elaboraron 16 mezclas utilizando combinaciones de 0, 20, 25, 30, 33, 37, 40, 50, 60 y 75% de FBM y PPV como estabilizadores de la tierra para su aplicación como material de construcción.

1 Doctor en Ingeniería Civil. Profesor-investigador de la Facultad de Arquitectura 5 de mayo de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6386-0249>. Correo electrónico: hz.lopez.calvo@gmail.com

2 Arquitecta. Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO), Facultad de Arquitectura 5 de mayo, Maestría en Ciencias de la Construcción, Cuerpo Académico Tecnología y Sustentabilidad. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0124-2500>. Correo electrónico: lauramaganpe@gmail.com

3 Doctora en Protección de los Patrimonios Históricos. Profesora-investigadora de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7221-1438>. Correo electrónico: arq.heidy.gb@gmail.com

4 Doctora en Historia Moderna y Contemporánea. Profesora-investigadora de la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1546-9050>. Correo electrónico: cecil.rs@gmail.com

Recibido: 19/03/2025 | Aceptado: 09/05/2025 | Publicado: 15/12/2025

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. .

Las propiedades evaluadas fueron: contracción por desecación, resistencia a la compresión y pruebas de inmersión. Los resultados revelaron que la adición de bagazo de maguey y polvo de tepezil contribuyó a mejorar las propiedades físico-mecánicas de la tierra, reduciendo el porcentaje de contracción lineal hasta en 25% e incrementando su resistencia al humedecimiento bajo pruebas de inmersión hasta en 96.90% en comparación con la mezcla control elaborada con sólo tierra arcillosa.

PALABRAS CLAVE: durabilidad, resistencia, estabilización, subproductos de maguey, suelo.

ABSTRACT

In this paper, the work was to evaluate the effects of the addition of maguey bagasse fiber (FBM) obtained as a by-product of the mezcal production in combination with volcanic stone powder (PPV), known as tepezil, as stabilizers in the physical and mechanical properties of the clay soil from the community of Yagul, Oaxaca. The selected soil was classified as inorganic clays of medium plasticity according to the Unified Soil Classification System (USCS). During the experimental phase, 16 mixtures were prepared in combinations of 0, 20, 25, 30, 33, 37, 40, 50, 60 and 75 % of FBM and PPV as soil stabilizers for application as construction material. The properties evaluated were: shrinkage due to drying, compressive strength and immersion tests. The results revealed that the addition of maguey bagasse and tepezil powder were favorable to improve the physical and mechanical properties of the soil, by reducing the percentage of linear contraction by up to 25 %, and increased their resistance to wetting under immersion tests by up to 96.90 %, compared to the control mixture made with only clay soil.

KEYWORDS: durability, maguey byproducts; resistance; soil, stabilization.

INTRODUCCIÓN

El uso de tierra como material de construcción tiene su origen en la manipulación y combinación de materiales accesibles al ser humano para su protección ante el medio ambiente. Con el paso del tiempo, la tecnificación y el mejoramiento de dichos materiales generaron diversos sistemas constructivos basados en tierra, que hoy en día constituyen una alternativa para disminuir el impacto ambiental, ya que su uso supone un menor gasto energético si se lo compara con materiales industrializados (Solís et al., 2015; Vásquez, 2001).

Existen dos procesos para elaborar materiales de construcción que utilizan la tierra como materia prima. El más sofisticado de ellos implica el uso de tierra cocida en hornos a altas temperaturas. El segundo está basado en la utilización de tierra cruda, a la que no se le aplica ningún proceso de cocción (Ordóñez, 2012). Entre estos últimos, los más conocidos son: los bloques de arcilla cruda, también llamados adobe, la tapia o tierra compactada y el bahareque.

Sin embargo, dada su naturaleza, no todos los suelos son aptos para ser usados como material de construcción. Buscando mejorar las propiedades físico-mecánicas de la tierra se han desarrollado diversas investigaciones, que implicaron su estabilización con agentes externos, ya sea por procesos consolidantes, en lo que se conoce como estabilización heterogénea, o por la adición de fibras en las matrices (Arteaga et al., 2011).

Empleando el proceso consolidante, Vilela Mora y Loaiza Carrión (2017) determinaron que la incorporación de 8% de peso del adobe en cemento resulta adecuada para estabilizar y mejorar sus condiciones físicas. Entre los estabilizadores utilizados más comúnmente en los sistemas de construcción con tierra se encuentran las fibras de origen artificial o natural (Laborel-Préneron, 2016). El uso de fibras contribuye a disminuir considerablemente la formación de fisuras, evitando su aparición durante la etapa de dilatación, retracción y endurecimiento del elemento de tierra. En este mismo sentido, Ghavami et al. (1999) concluyeron en su investigación que la adición de fibras de coco y sisal de 50 milímetros de longitud en un porcentaje de 4% tuvo un efecto significativo en la prevención de la aparición de grietas por contracción en el proceso de secado; además, su uso incrementó ligeramente su resistencia a la compresión. Sin embargo, otros estudios en los que se evaluaron mezclas de tierra que contenían cemento Portland, tepezil y fibras de agave determinaron que el aumento de fibras en la mezcla redujo en aproximadamente 46% la resistencia a la compresión con respecto a una muestra control que no contenía fibras (Olivera et al., 2018). Por otra parte, se han probado diversas adiciones, tales como cemento, cal y subproductos naturales e industriales, para la estabilización de la tierra. En su investigación, Vilane (2010), por ejemplo, empleó melaza, estiércol de vaca, aserrín y cemento Portland como estabilizadores en bloques de tierra. Hossain et al. (2007), por su parte, proponen el uso de ceniza volcánica, cal, cemento y sus combinaciones para pavimentos de carreteras, aeródromos, presas de tierra y viviendas de bajo costo. La adición de ceniza de cascarilla de arroz y cemento estabiliza suelos residuales, disminuyendo la densidad seca máxima y aumentando el contenido óptimo de humedad tras incorporar 6-8% de cemento y 10-15% de ceniza de cascarilla de arroz (Basha et al., 2005).

El cemento Portland es el material más utilizado para la estabilización de tierra que se usará como material de construcción. Sin embargo, su fabricación requiere un alto consumo energía, con la consecuente liberación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero y altas emisiones de CO₂ (Worrell, Price, Hendricks y Ozawa-Meida, 2001). Según Moreno et al. (2022), es posible sustituir parcialmente el agregado fino o de cemento en materiales constructivos con rocas metamórficas como el polvo de mármol; al respecto, en su investigación concluyen que, en proporciones de entre 10 y 15%, el polvo de mármol como sustituto parcial del cemento proporciona un incremento en la resistencia a la compresión de morteros, concretos e incluso en la fabricación de ladrillos. No obstante, Álvarez, Ríos y Castellanos (2021) indicaron en su estudio que los morteros en los que se usó piedra pómez como materia prima para la producción de geopolímeros alcanzaron resistencias a la compresión de 19.16 MPa-19.96 MPa, inferiores a las obtenidas con morteros de cemento Portland ordinario, que lograron resistencias a la compresión de 27.92 MPa-29.00 MPa.

El bagazo es el residuo fibroso del maguey y representa aproximadamente 14 a 20% del peso de la planta. Las cantidades producidas en el estado de Oaxaca alcanzan aproximadamente 122,696 toneladas al año; comúnmente es empleado como combustible para calderas en la propia producción del mezcal, a pesar de lo cual la mayor parte se vierte en ríos, arroyos o simplemente se amontona fuera de palenques o terrenos de cultivo y su lenta degradación lo convierte en un problema ambiental (Martínez et al., 2013). En la literatura se puede encontrar información sobre la estabilización de la tierra empleando subproductos del maguey, lo que mejora sus propiedades físico-mecánicas y de durabilidad para su uso como material de construcción. Tales son los resultados de la investigación de Lejano y Pineda (2018) sobre tierra comprimida estabilizada con distintas fibras naturales, como la fibra de coco, abacá y maguey, en donde se constató la capacidad de carga de muros reforzados con fibra aumenta en 33.79% en comparación con los muros no reforzados. La adición de bagazo de maguey contribuye considerablemente a mejorar la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, según lo determinó el estudio de Caballero et al. (2018). Es en el contexto antes mencionado que la investigación relacionada con el uso de materiales de construcción alternativos de origen natural, como puzolanas y fibras cuya obtención no requiere procesos altamente contaminantes, y el aprovechamiento de residuos agroindustriales como el bagazo de maguey, adquiere gran relevancia desde el punto de vista ambiental y científico. La presente investigación tiene como objetivo evaluar los efectos de la incorporación de bagazo de maguey en conjunto con el polvo de piedra volcánica “tepezil” como estabilizadores, para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de una tierra arcillosa proveniente de

la región de Yagul, Oaxaca, para su posible uso como material de construcción sustentable, como son los sistemas constructivos que emplean arcilla como materia prima, entre ellos, el adobe, la tapia y el bahareque.

Entre las limitaciones detectadas se encuentra la variabilidad de los materiales, ya que el bagazo puede mostrar distinta composición y comportamiento en combinación con las adiciones, según la especie o el método de extracción poco estandarizado, así como la variación del tepezil en granulometría y mineralogía.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en esta investigación es de tipo aplicada con un enfoque cualitativo, ya que las variables son obtenidas mediante la recolección, la medición aritmética y el análisis de datos con métodos estadísticos (Hernández Sampieri, 2014). Para evaluar los efectos de la adición de bagazo de maguey y polvo de piedra volcánica tepezil en las propiedades físico-mecánicas de tierra arcillosa proveniente de Yagul, Oaxaca, se desarrolló un diseño experimental. Las variables consideradas en el estudio fueron el tipo de mezcla, seis en combinaciones binarias (CBI) y 10 en combinaciones ternarias (cte). Los componentes y niveles de las mezclas fueron T1, FBM y PPV, refiriéndose respectivamente a tierra de la región, fibra de maguey de especie agave angustifolia y polvo de piedra volcánica en combinaciones de 0, 20, 25, 30, 33, 37, 40, 50, 60 y 75% . En lo que respecta a la variable tiempo transcurrido o edad, las mezclas se probaron a los siete y 30 días de edad. Las variables de respuesta fueron la resistencia a la compresión axial, el porcentaje de contracción por desecación y la resistencia al proceso de inmersión. Los detalles del diseño experimental se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Variables empleadas en el diseño experimental.

| Variables de respuesta | Características y dimensiones de la muestra | Número de muestras y edad de prueba | Equipos de prueba y norma utilizada |
|---|--|---|--|
| Resistencia a la contracción por desecación | Barra de 40 x 40 mm de sección transversal y 400 mm de longitud. | Una réplica por mezcla probada a los 30 días. | Toma de medidas con calibrador Vernier de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-416- ONNC-CE-2003. |

| | | | |
|---------------------------------|---------------------------|--|---|
| Resistencia a la inmersión | Cubos de 100 mm por lado. | Dos réplicas por mezcla probadas a los siete días. | De acuerdo con la norma ASTM C-67. |
| Resistencia a la compresión | | Dos réplicas por mezcla probadas a los siete días. | Máquina de ensayo hidráulica ALCON. Ensayos de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2014. |
| Nota: Elaborada por los autores | | | |

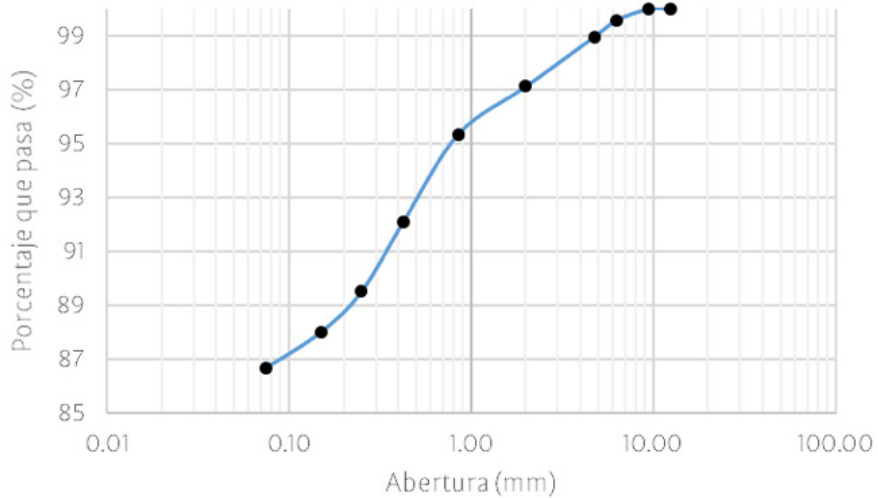
La tierra (T1) utilizada proviene de la región de Yagul, localizada aproximadamente a una hora de la capital del estado de Oaxaca. En la figura 1 se muestra la localización del predio del que se obtuvo la tierra de estudio.

Figura 1. Localización de la región de estudio. Fuente: Elaboración propia.



Visualmente se identificó la tierra como de color gris y su contacto con agua dificultaba su trabajabilidad, ya que se volvía sumamente pegajosa para su manipulación. Se inició la caracterización del suelo con la obtención del peso volumétrico seco suelto (pvss) y del peso volumétrico seco compacto (pvsc), de acuerdo con la norma NMX-C-073-ONNCCE-2004. Los resultados obtenidos mostraron que el pvss fue de 1,174 kg, mientras que el pvsc fue de 1,408 kg. En segunda instancia, se hizo un análisis granulométrico acorde a la norma NMX-C-077-ONNCCE-2022. Los resultados obtenidos revelaron que la tierra analizada está constituida por 86.69% de arcilla, 1.33% de limos, 10.96% de arenas y tan sólo 1.03% de gravas. En la figura 2 se muestra la gráfica granulométrica obtenida.

Figura 2. Gráfica granulométrica de la muestra de tierra de Yagul, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia



Seguidamente se determinaron el índice líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, según la norma mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018. Empleando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (sucs), la tierra fue identificada como un suelo de arcillas inorgánicas de mediana plasticidad (cl), con un límite líquido (ll) de 35.50%, un límite plástico (lp) de 24% y un índice plástico (ip) de 11.50%. Para la elaboración de las mezclas se utilizó fibra de bagazo de maguey proporcionada por un palenque de producción de mezcal de la región de Yagul, Oaxaca. Para su secado, el bagazo se expuso tres días al sol; posteriormente, se seleccionaron fibras cuyo tamaño oscilaba entre 20 mm y 40 mm de longitud como máximo. Asimismo, se adquirió polvo de piedra volcánica (PPV) con un proveedor de materiales de construcción local, para utilizarlo como adición estabilizante. En la figura 3 se muestran los dos estabilizantes.

Figura 3. Materiales estabilizantes. Izquierda: polvo de piedra volcánica (PPV). Derecha: bagazo de maguey (FBM). Fuente: Elaboración propia



2.1 Diseño de la argamasa y su proceso de estabilización

Para evaluar la factibilidad de estabilización de la tierra del sitio para su empleo como material de construcción, se desarrolló un diseño experimental que supuso la elaboración de 16 mezclas derivadas de la combinación de tierra T1, PPV y FBM y el uso de una muestra control con tierra T1 sin estabilizar. Dadas sus características de ligereza y composición mineralógica, se decidió utilizar polvo de piedra volcánica, conocido como tepezil, el cual fue cribado en una malla con un tamaño máximo de abertura de 4.75 mm, en combinación con fibras de bagazo de maguey. Con dichas adiciones se elaboraron seis combinaciones binarias (CBI), elaboradas con tierra-bagazo y tierra-polvo de piedra volcánica en porcentajes de 20% y hasta 75% de sustitución con respecto al volumen de tierra. De la misma manera, se elaboraron 10 mezclas ternarias (cte), conteniendo tierra, fibra de bagazo de maguey y polvo de piedra volcánica en diferentes combinaciones, desde 20% hasta 75% con respecto al volumen de la tierra. En la tabla 2 se muestran las diversas mezclas elaboradas y las combinaciones de sus componentes.

Tabla 2. Componentes de la mezcla y porcentajes de sustitución con respecto al volumen de tierra.

| Mezclas | ID | Tierra T1 (%) | FBM (%) | PPV (%) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------|---------|---------|
| Control | M1 | 100 | 0 | 0 |
| Combinaciones binarias (CBI) | M2 | 75 | 25 | 0 |
| | M3 | 50 | 50 | 0 |
| | M4 | 25 | 75 | 0 |
| | M5 | 75 | 0 | 25 |
| | M6 | 50 | 0 | 50 |
| | M7 | 25 | 0 | 75 |
| | Combinaciones ternarias (CTE) | M8 | 60 | 20 |
| M9 | | 40 | 20 | 40 |
| M10 | | 20 | 20 | 60 |
| M11 | | 50 | 30 | 20 |
| M12 | | 33 | 33 | 33 |
| M13 | | 20 | 30 | 50 |
| M14 | | 40 | 40 | 20 |
| M15 | | 30 | 40 | 30 |
| M16 | | 20 | 40 | 40 |
| M17 | | 37 | 25 | 37 |

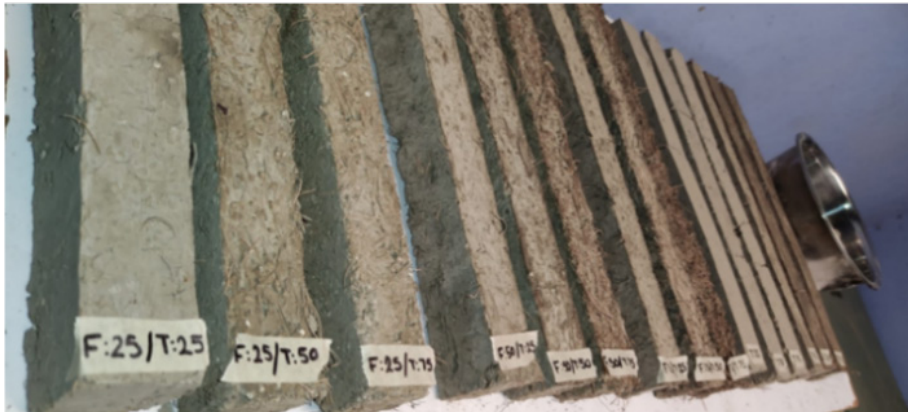
Notas: Elaborada por los autores

2.2 Etapa experimental

2.2.1 Pruebas de contracción por desecación

A fin de realizar las pruebas de contracción por desecación, se elaboraron barras de contracción en moldes de 40 x 40 mm de sección transversal y 400 mm de longitud para cada una de las mezclas (véase figura 4). Para la fabricación de los especímenes, se colocó la tierra en estado plástico en cada uno de los moldes y se dejó secar durante 30 días en el laboratorio a una temperatura de $21 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad de entre 60 y 65 %. Una vez concluido el periodo de secado, se midieron las grietas ocasionadas por la pérdida de humedad con un vernier mecánico y se determinó el porcentaje de contracción mediante la suma de los espesores de las grietas con respecto a la longitud total de la barra.

Figura 4. Especímenes para cálculo de contracción por desecación. Fuente: Elaboración propia



2.2.2 Resistencia a compresión axial

A fin de realizar la prueba de compresión axial, se fabricaron cubos de 100 x 100 x 100 mm para cada una de las mezclas, siguiendo los lineamientos de la norma NMX-C-219-ONNCCE-2005. Una vez alcanzada la edad de prueba, los especímenes fueron sometidos a compresión axial empleando una prensa hidráulica de 120 toneladas de capacidad a una velocidad constante de 0.30 mm por segundo (véase figura 5).

Figura 5. Prueba de compresión axial en cubos de 100 x 100 x 100 mm. Fuente: Elaboración propia



2.2.3 Cálculo de la pérdida de masa por inmersión

Para calcular la pérdida de masa causada por el humedecimiento, se fabricaron por duplicado cubos de 50 x 50 x 50 mm para cada una de las mezclas. Inicialmente se pesaron los especímenes en estado seco y luego se los sumergió en agua durante siete días (véase figura 6). Al cumplir la edad de prueba, los cubos fueron retirados del agua y secados superficialmente con un paño húmedo para quitar los excedentes de agua; luego fueron pesados nuevamente y se calculó la pérdida de masa, de acuerdo con la siguiente ecuación:

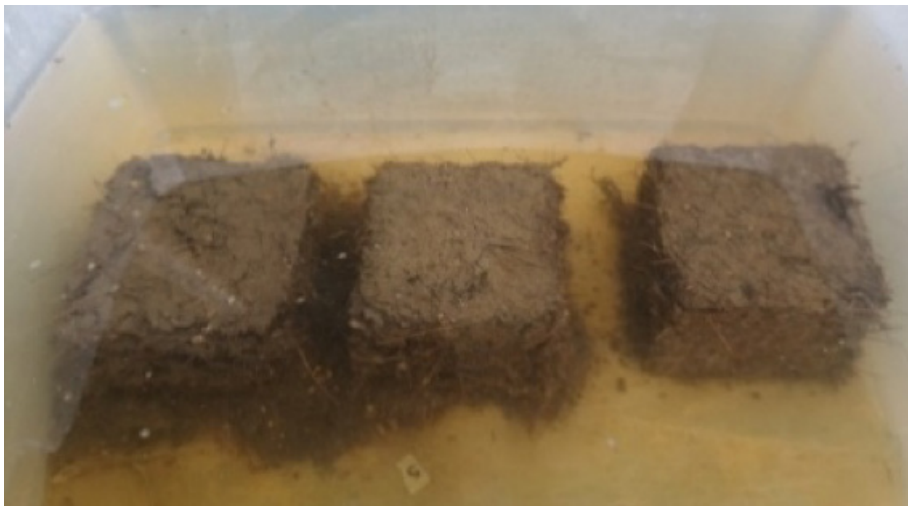
$$\text{Absorción \%} = 100 \frac{(W_s - W_d)}{W_d}$$

Donde:

W_d : peso seco del espécimen en gramos.

W_s : peso saturado del espécimen en gramos.

Figura 6. Sumersión de cubos de las mezclas durante siete días. Fuente: Elaboración propia

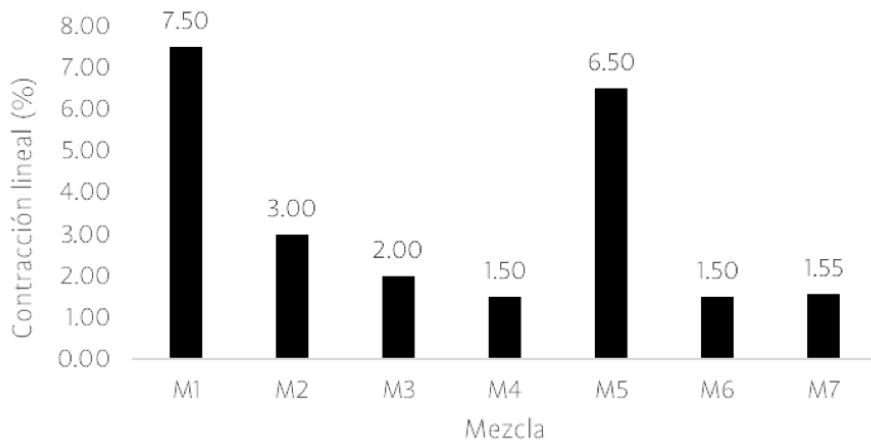


ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Resultados de la prueba de contracción lineal por desecación

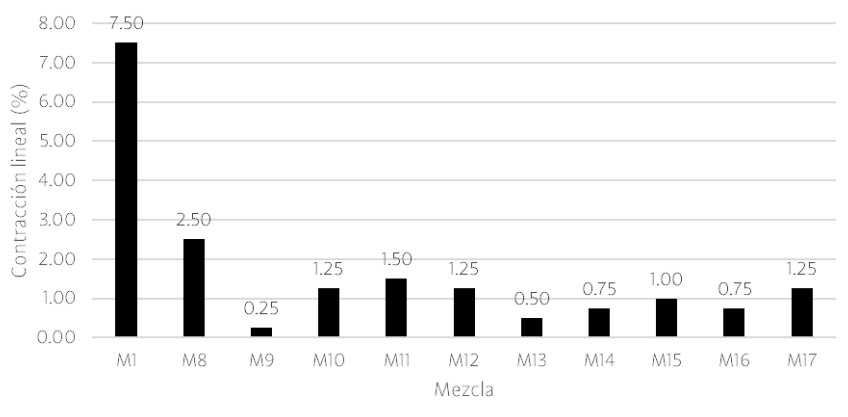
Los resultados de las pruebas de contracción lineal, obtenidos en los especímenes elaborados con combinaciones binarias (CBI) mostrados en la figura 7, revelaron que todas las mezclas evaluadas presentaron cierto porcentaje de contracción por desecación, aunque en diversos grados. Del conjunto de mezclas CBI, la mezcla control (M1) y la mezcla M5 mostraron los resultados más desfavorables, con contracciones superiores a 6.5%. En contraste, el resto de las mezclas mostró contracciones iguales o inferiores a 3.00% de su longitud, es decir, menos de 50% de contracción al compararse con la muestra control. Los mejores resultados se observaron en las mezclas M4 y M6, que mostraron sólo 1.5% de contracción con respecto a la mezcla M1. Cabe destacar que todos los especímenes elaborados con bagazo de maguey en porcentajes mayores a 50% de PPV con respecto al peso volumétrico del suelo presentaron una disminución en su contracción lineal al ser comparados con las mezclas elaboradas sin fibras. Dichos hallazgos están en concordancia con lo concluido por Arteaga, Medina y Gutiérrez (2011), quienes demostraron que mediante la estabilización con fibras se puede controlar la aparición de fisuras en componentes constructivos elaborados con tierra.

Figura 7. Resultados de las pruebas de contracción lineal por desecación en especímenes con combinaciones binarias (CBI), con respecto a la mezcla control (M1). Fuente: Elaboración propia.



En lo que respecta a los resultados de las pruebas de contracción lineal presentadas en la figura 8, obtenidas de las mezclas elaboradas en combinaciones ternarias (CTI), se observa una mejoría evidente en todas las mezclas al compararlas con la muestra control (M1). Un análisis más detallado reveló que la mezcla que presentó mejores resultados fue la M9, que registró una contracción lineal de 0.25%; ésta fue elaborada con 40% de tierra (T1), 20% de bagazo de maguey y 40% de PPV. En contraste, la mezcla M8 registró 2.50% de contracción, siendo la mezcla menos favorable del grupo CTI. Los hallazgos obtenidos en las pruebas de contracción plástica por desecación en ambos grupos de mezclas, CBI y CTI, concuerdan con lo observado por Ghavami et al. (1999), quienes en su investigación concluyeron que la adición de fibras naturales en mezclas de suelo fue benéfica, aunque en diversos grados, para reducir el porcentaje de contracción.

Figura 8. Resultados de las pruebas de contracción lineal por desecación en especímenes con combinaciones ternarias (CTI), con respecto a la mezcla control (M1). Fuente: Elaboración propia.



3.2 Resultados de la prueba de compresión simple

Para la ejecución de las pruebas de resistencia a la compresión, se fabricaron por duplicado cubos de 100 x 100 x 100 mm para cada una de las 16 mezclas. Los resultados mostrados en la figura 9 para combinaciones binarias (CBI) y en la figura 10 para combinaciones ternarias (CTI) revelaron que la incorporación de fibras y polvo de piedra volcánica mostró un efecto adverso en todas las mezclas, reduciendo en diversos grados su resistencia a la compresión en comparación con la muestra control (M1), elaborada con 75% de T1 y 25% de PPV. Un análisis más detallado de las mezclas CBI presentadas en

la figura 9 reveló que la mezcla M5 fue la menos desfavorable, pues mostró una reducción de su resistencia a la compresión de sólo 6.30% en comparación con la mezcla control. Los resultados de las mezclas ternarias (CTI) presentadas en la figura 10 mostraron una reducción de entre 12.3% y 18.95% en todas las mezclas con respecto a la muestra control. Sólo la mezcla M16, elaborada con 20% de TI, 40% de FBM y 40% de PPV, presentó una disminución de 9.4%, siendo ésta la mezcla menos desfavorecida por la incorporación de fibra y PPV. Cabe destacar que los resultados conseguidos están en total concordancia con los obtenidos en las investigación realizadas por Olivera et al. (2018) y Álvarez et al. (2021), en las que se concluye que al incrementarse la proporción de fibras de maguey en los materiales biocompuestos evaluados disminuye la resistencia a la compresión.

Figura 9. Gráfica de resultados de prueba resistencia a la compresión del grupo CBI.
Fuente: Elaboración propia.

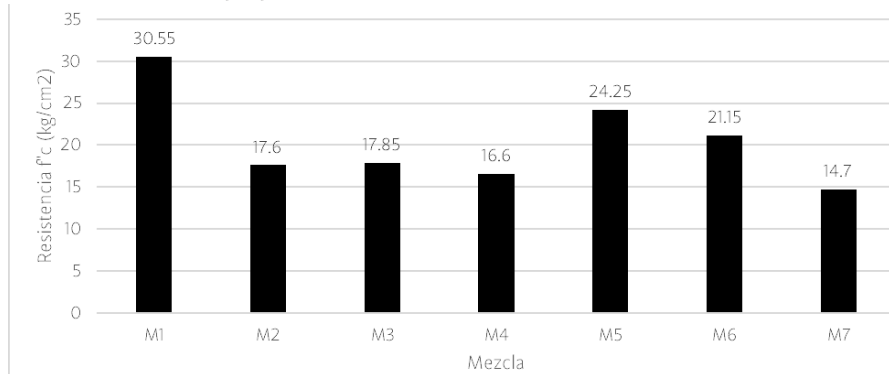
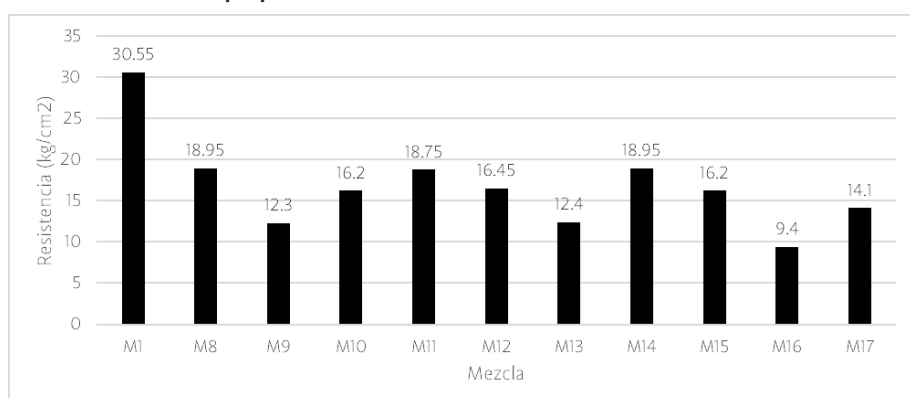


Figura 10. Gráfica de resultados de prueba resistencia a la compresión del grupo CTI.
Fuente: Elaboración propia.



3.3 Resultados de la prueba de pérdida de masa por inmersión

Los resultados de las pruebas de pérdida de masa después de siete días de inmersión revelaron que, en general, los cubos de todas las mezclas sufrieron cierto grado de disminución de masa, cambiando su forma original al redondearse las esquinas, con exposición superficial de fibras y piedras por erosión. Es importante destacar que la mezcla M1 (control) y las mezclas M5, M6 y M7 de la agrupación CBI, las cuales no contenían fibra de bagazo de maguey, se disolvieron totalmente a las pocas horas de haber iniciado la prueba de inmersión, por lo que, como se observa en la figura 11, dichos especímenes fueron descartados del experimento. En contraste, las mezclas M2, M3 y M4, adicionadas con 25%, 50% y 75% de fibras de bagazo de maguey, respectivamente, presentaron pérdidas de masa inferiores a 9% después de siete días de inmersión.

En cuanto a los resultados obtenidos en especímenes del grupo CTI presentados en la figura 12, elaborados con 20% a 30% de bagazo de maguey (FBM), todas las mezclas tuvieron una resistencia adecuada tras siete días de inmersión, con pérdidas de masa inferiores a 15%. Las mezclas M8, M9 y M17 presentaron disminuciones de masa de entre 12% y 13%. Para las mezclas M10, M11, M12 y M15, las reducciones de masa fueron de 8.20% a 4.90%. Finalmente, las mezclas M13, M14 y M16 fueron las más resistentes, registrando pérdidas de masa de 4.0% a 3.10%. En contraste, la mezcla control, preparada únicamente con tierra, se disolvió a las pocas horas de haber iniciado la prueba.

Figura 11: Resultados de la prueba de pérdida de masa por inmersión en especímenes del grupo CBI. Fuente: Elaboración propia.

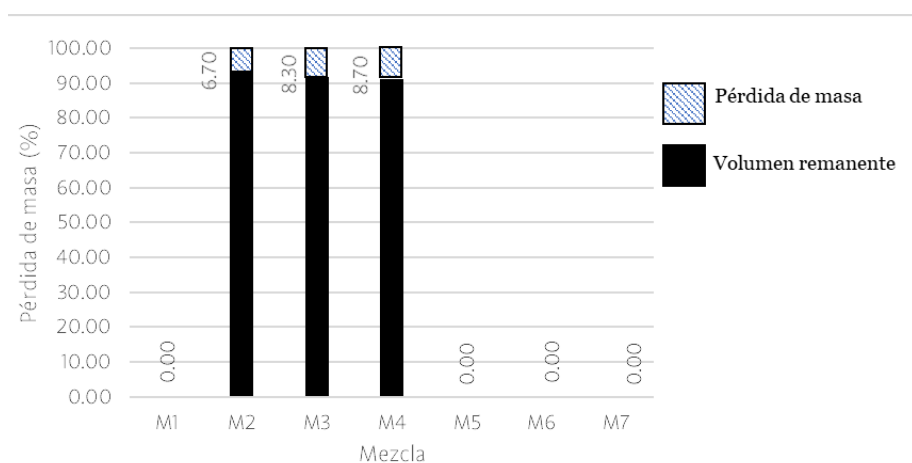
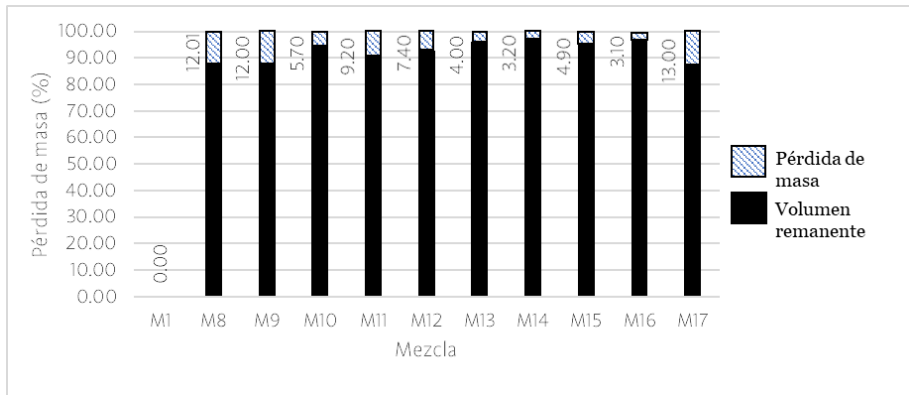


Figura 12: Resultados de la prueba de pérdida de masa por inmersión en especímenes del grupo CTI. Fuente: Elaboración propia.



CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados derivados de la evaluación de las propiedades mecánicas de la tierra arcillosa proveniente de la comunidad de Yagul, Oaxaca estabilizada con bagazo de maguey y polvo de piedra volcánica en combinaciones binarias (tierra-bagazo y tierra-PPV) y combinaciones ternarias (tierra-bagazo-PPV), se puede concluir lo siguiente:

Los resultados de las pruebas de contracción por desecación revelaron que en todos los casos la adición de bagazo de maguey (FBM) y polvo de piedra volcánica (PPV) en los distintos porcentajes evaluados redujo la aparición de grietas provocadas por la pérdida de humedad. Del grupo de mezclas con combinaciones binarias (CBI), la adición de un porcentaje igual o mayor a 25% de fibra de bagazo de maguey fue la mejor opción.

La adición de 50% de PPV mostró resultados satisfactorios en todos los casos; sin embargo, al incrementar el porcentaje de PPV a 75%, los resultados fueron adversos. Con respecto a la tierra con combinaciones ternarias (CTI), se obtuvieron valores de contracción iguales o menores a 2.50 %, por lo que resultados obtenidos permiten concluir que el uso de FBM y PPV en combinaciones ternarias disminuyó considerablemente el porcentaje de contracción lineal.

Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión revelaron que la incorporación de FBM produjo un efecto adverso en la resistencia a

la compresión. Se constataron disminuciones en su resistencia de entre 24.25 kg/cm² y 14.7 kg/cm² para las mezclas CBI. En cuanto a las mezclas CTI, las disminuciones en su resistencia estuvieron en el orden de 18.95 kg/cm² a 9.4 kg/cm² con respecto a la mezcla control.

Los resultados de la prueba de pérdida de masa por inmersión indican que la mezcla control y las mezclas del grupo binario (CBI) elaboradas con polvo de piedra volcánica (PPV) carecieron de efectividad para resistir la inmersión en agua, pues mostraron una pérdida de masa de 100% en las primeras horas de prueba. Por el contrario, las muestras binarias en las que se adicionó 25%, 50% y 75% de bagazo de maguey mejoraron considerablemente su resistencia ante la inmersión en agua, mostrando pérdidas de masa inferiores a 9%. Sin embargo, el mejor desempeño se observó en las mezclas ternarias (CTI) que contenían 40% de bagazo de maguey (FBM) combinado con 20%, 30% y 40% de polvo de piedra volcánica (PPV), las cuales presentaron pérdidas de masa de 4.0% a 3.10%. Esto permite concluir que la adición de mayores porcentajes de FBM y PPV mejoró notablemente la resistencia de la tierra TI al compararla con la mezcla control, aprovechando así el uso de bagazo de maguey.

Entre las futuras líneas de desarrollo derivadas de esta investigación, se propone el diseño y construcción de prototipos constructivos, ya sea de elementos parciales de una vivienda o de sistemas completos, así como su aplicación práctica en condiciones reales (*in situ*). Asimismo, se recomienda dar continuidad a esta línea de estudio evaluando la tierra arcillosa estabilizada con la incorporación de otros aditivos complementarios. También se sugiere evaluar y analizar el comportamiento del experimento con adiciones de fibra de maguey de otras especies.

REFERENCIAS

- Álvarez Mantilla, H., Ríos Reyes, C. A., y Castellanos Alarcón, O. M. (2021). Propiedades fisicomecánicas, desempeño y durabilidad de morteros geopoliméricos a base de puzolana natural tipo piedra pómez. *INGE CUC*, 17(1), 216-229. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.17>
- Arteaga Medina, K. T., Medina, Ó. H., y Gutiérrez Junco, Ó. J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Facultad de Ingeniería*, 20(31),55-68. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940770005>
- ASTM C67/C67M-21 - Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.
- Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., y Muntohar, A. S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and building materials*, 19(6), 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.08.001>
- Caballero, M., Chinas, F., Montes, J. L., Alavéz, R. y Silva, M. E. (2018). Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 575-585. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1349709>
- Ghavami, K., Toledo Filho, R. D., y Barbosa, N. P. (1999). Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. *Cement and concrete composites*, 21(1), 39-48. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00033-X)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6° ed.). Mc Graw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- Hossain, K. M. A., Lachemi, M., y Easa, S. (2007). Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua New Guinea. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(4), 711-731. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.12.003>
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., y Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials:

A review. *Construction and building materials*, 111, 719-734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>

Lejano, B. A., y Pineda, K. D. (2018). Investigation of the effects of different natural fibers on the strength of compressed stabilized earth blocks (Cseb). *Journal of GEOMATE*, 14(42), 37-43. <https://doi.org/10.21660/2018.42.7142>

Martínez Gutiérrez, G. A., Íñiguez Covarrubias, G., Ortiz-Hernández, Y. D., López-Cruz, J. Y., y Bautista Cruz, M. A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 209-216. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_art-text&pid=S0188-49992013000300007&lng=es&tlng=es

Moreno, A. N., Ponce Palafox, C., Avalos Bemolte, F., y Múzquiz Ramos, E. M. (2022). Marble residues in construction materials: a review of the use of marble dust in mortars, concrete and bricks. *Revista ALCONPAT*, 12(2), 162-183. <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.522>

NMX-C-073-ONNCCE-(2004). Industria de la Construcción-agregados-masa volumétrica-método de Prueba.

NMX-C-077-ONNCCE-(2022). Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico-Método de Ensayo.

NMX-C-083-ONNCCE-(2005). Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes-Método de Ensayo.

NMX-C-416-ONNCCE-(2003). Industria de la Construcción-Muestreo de Estructuras Téreas y Métodos de Prueba.

Olivera, A. A., Caballero Caballero, M., Alavéz Ramírez, R., Chiñas Castillo, F., Montes Bernabé, J. L., & Silva Rivera, M. E. (2018). Biocompuesto cemento tepexil reforzado con fibras de *Agave angustifolia* Haw. como mortero ligero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (21), 4406-4415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1531>

- Ordóñez, L. (2012). La tierra, un material de construcción sustentable. *Inventio*, 8(16), 41-48. <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/385>
- Solís, M., Torrealva, D., Santillán, P., y Montoya, G. (2015). Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas. *Informes de la Construcción*, 67(539), e092. <https://doi.org/10.3989/ic.13.141>
- Vilane, B. R. T. (2010). Assessment of stabilisation of adobes by confined compression tests. *Biosystems Engineering*, 106(4), 551-558. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.008>
- Vilela Mora, D. E., y Loaiza Carrión, E. R. (2017). Ensayos preliminares de mezcla suelo-cemento, mejoran la estabilización de adobes para la construcción rural. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 146-156. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/176>
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., y Meida, L. O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual review of energy and the environment*, 26(1), 303-329. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>
- Sharma, P., Mittal, M., Yadav, A., y Aggarwal, N. K. (2023). Bacterial cellulose: nano-biomaterial for biodegradable face masks—a greener approach towards environment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 19, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100759>

Derechos de Autor© 2025 López Calvo, Herwing Zeth; Ángel Pérez, Laura Margarita; Gómez Barranco, Heidy; Rodríguez Sanchez, Luz Cecilia



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.