# Elaboración de adobes con fibras de Agave angustifolia Haw. en Zumpahuacán, Estado de México. Estrategia para promover el desarrollo local sostenible

## Manufacture of adobe bricks with fibers of Agave angustifolia Haw. in Zumpahuacan, State of México. Strategy to promote sustainable local development

Mauricio Ruiz Serrano,[1] José Isabel Juan Pérez[1]

Resumen: El *Agave angustifolia* Haw. es un recurso importante para las familias que habitan en las comunidades del Municipio de Zumpahuacán, Estado de México. Para demostrar la importancia de esta planta en la elaboración de adobes, en un laboratorio de materiales se ensayaron las características de peso, volumen, peso volumétrico, porcentaje de absorción de agua y resistencia a la compresión de cuatro tipos de adobes con diferentes composiciones: a) arcilla y zacate (gramíneas), b) arcilla y fibras de agave, c) arcilla y bagazo, y d) arcilla, fibras y bagazo, para determinar el adobe más adecuado para la construcción de muros de viviendas. La elaboración de adobes con residuos de agave es el más adecuado y puede fomentar el desarrollo local sostenible.

Palabras Clave:
Recurso vegetal, arcilla, adobes, desarrollo local.

Abstract: The *Agave angustifolia* Haw. it is an important natural resource for families that live in the communities of the Municipality of Zumpahuacan, State of Mexico. To demonstrate the importance of this plant in the manufacture of adobe bricks, in a materials laboratory the characteristics of weight, volumen, volumetric weight, percentage of water absorption and resistance to compression of four types of adobe bricks with different compositions were tested: a) clay and grass (grasses), b) clay and agave fibers, c) clay and agave bagasse, and d) clay, fibers and agave bagasse, and determine the most suitable type of adobe brick for the construction of walls for peasant houses. The manufacture of adobe bricks with agave bagasse is the most appropriate and can promote sustainable local development.

Key words:
Vegetal resource, clay, adobe bricks, local development.

Recibido: 14 de octubre de 2022
Aceptado: 18 de noviembre de 2022

[1]Universidad Autónoma del Estado de México, México.
*Correo de contacto: jupi582602@gmail.com

Con Texto Humano
ISSN: 2954-5021
Vol. 1 Núm. 1.
Julio-Diciembre 2022
pp. 43-55

# Introducción

La tierra (arcilla/barro) es el material de construcción más utilizado en los asentamientos humanos rurales de muchos países del mundo, principalmente en los países en desarrollo, pues su uso tiene múltiples ventajas. Este material ha acompañado la aventura de la sociedad desde su forma más antigua y humilde hasta la actualidad donde representa el papel de una alternativa respetuosa con el ambiente. Cuando la humanidad empezó a edificar eligió la tierra cruda como material predilecto, si no queda huella de esas ciudades y construcciones es precisamente porque requieren cuidado y mantenimiento (Domínguez, 2010). La tierra es el más antiguo de los materiales de construcción y actualmente representa una alternativa a la demanda de viviendas de bajo costo (Vega *et al.,* 2011).

Recientemente se realizan estudios para conocer el uso de fibras naturales en la fabricación de materiales para la construcción de viviendas, enfatizando en la efectividad de las fibras para reforzar ladrillos de adobe, ladrillos de concreto o ladrillos de ferrocemento, esto con el propósito de incrementar la resistencia mecánica y la resistencia al agua. La definición de adobe más acorde con este artículo es la establecida por la Norma Peruana E. 080, y se define como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad al contacto con agentes externos y atenuar las fisuras por contracción de secado (Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción, 2000).

Los agaves tienen amplia importancia histórica, cultural, ecológica y económica (Velasco *et al.,* 2009). El agave comúnmente denominado "*maguey*", es una planta de la cual se aprovechan hojas, tallo, raíz, flores y frutos. De las estructuras del agave se obtienen múltiples beneficios y desempeñan funciones importantes, por ejemplo, es utilizada con fines alimenticios, medicinales, rituales, ecológicos, químicos, agrícolas, ornamentales, artesanales, elaboración de bebidas destiladas (mezcal, tequila, bacanora), obtención de fibras, construcción de viviendas, como combustible, forraje y abono. En general, ofrece más de 100 formas de aprovechamiento (Barrientos *et al*., 2019; García, 2007; De la Peña, 2008).

El *Agave angustiofilia* Haw. denominado "*maguey delgado*" o "*espadín*" ha sido objeto de diversos estudios, todas con distintos propósitos y con la finalidad de demostrar la diversidad de usos y funciones, por ejemplo, Bañuelos y Salido (2012) realizan un estudio etnobotánico en comunidades del Estado de Sonora, México, para describir su importancia y usos desde la época prehispánica hasta la actualidad, analizan posibles alternativas para su uso en la industria aeronáutica, geotextil, textil y mueblera. Caballero *et al*., (2010) mediante ensayos en laboratorio determinan la potencialidad de las fibras del agave para reforzar ladrillos de arcilla y ser utilizados como materiales de construcción. Bautista *et al*., (2015) estudiaron la importancia de los residuos de agave para mejorar las propiedades y la fertilidad del suelo. Zizumbo *et al.,* (2013) estudiaron la sustentabilidad y potencial del cultivo de agave y su relación con problemas ecológicos y socioeconómicos que provoca la industria del tequila. Colunga *et al.,* (2007) son expertos en investigaciones de estas plantas y afirman que los agaves representan una alternativa para el desarrollo sostenible desde el punto de vista ecológico y social.

El manejo de los agaves puede fomentar el desarrollo local de las comunidades, pues se ha demostrado que existen múltiples relaciones históricas que vinculan la mexicanidad y la cultura con su uso. En virtud de la versatilidad peculiar de los agaves mexicanos, existe alta factibilidad de incrementar el valor agregado de los productos que se obtienen, pues tanto la industria de muebles como la de la construcción han iniciado la utilización de materiales elaborados con fibras de agave (Colunga *et al.,* 2007). Los residuos (bagazo) obtenidos de la destilación de bebidas contienen fibras que pueden ser aprovechadas por las comunidades para elaborar o reforzar materiales de construcción, su uso contribuye a la obtención de un valor agregado a los agaves, ya que ofrece ventajas técnicas, físicas y económicas (Alfonso *et al.,* 2018).

Las fibras naturales de las plantas constituyen una posibilidad real para los países en desarrollo, ya que están disponibles en diversos ambientes, y representan una fuente renovable continua. Los materiales de construcción reforzados con fibras de agave se pueden obtener a un bajo costo (Juárez *et al.,* 2002). Tanto las fibras naturales como los residuos de bagazo de los agaves han sido utilizados para reforzar materiales de

construcción, principalmente mezclados con cemento y tepexil (piedra pómez), sin embargo, no se hacen especificaciones precisas de su uso para la conformación de adobes de arcilla, situación que motiva a investigar otras alternativas de su uso para la construcción de viviendas rurales.

Para demostrar la importancia de las fibras de *Agave angustifolia* Haw. en la conformación de adobes para la construcción de viviendas se realizó trabajo de campo y estudios de laboratorio para determinar las características de peso, volumen, peso volumétrico, porcentaje de absorción de agua y resistencia a la compresión de cuatro tipos de adobes con las siguientes composiciones: a) arcilla y zacate (gramíneas), b) arcilla y fibras de agave, c) arcilla y residuos de agave, y d) arcilla, fibras y residuos de agave, y de esta manera conocer el tipo de adobe más adecuado para la construcción de muros de viviendas y fomentar el desarrollo local sustentable en comunidades rurales. La pregunta de investigación fue: ¿Es posible utilizar residuos (hojas y bagazo) de *Agave angustifolia* Haw para elaborar adobes resistentes a las fuerzas de compresión y utilizarlos en la construcción de muros de viviendas rurales de la región centro-oriente del municipio de Zumpahuacán, Estado de México?

Múltiples son las justificaciones para promover la elaboración y uso de materiales tradicionales para la bioconstrucción, pero la más importante es la aplicación y promoción del conocimiento tradicional en la elaboración de adobes con residuos del *Agave angustifolia* Haw., lo que representa una estrategia para la conservación de tradiciones e identidad cultural, además, la situación ambiental actual, plantea la necesidad de incorporar un saber ambiental teórico y práctico para transitar hacia la sostenibilidad en comunidades rurales.

La elaboración de adobes con adición de residuos de agave puede fomentar el desarrollo local sostenible, ya que el costo de los materiales de construcción convencionales es alto y no siempre están disponibles para las familias campesinas de la región centro-oriente del municipio de Zumpahuacán, Estado de México. Con la adición de fibras de agave en los adobes se obtienen ahorros considerables y se disminuyen los impactos ambientales que provocan los materiales de construcción convencionales. Cuitiño *et al.,* (2020) señalan que durante las etapas de fabricación de los materiales de construcción y de los productos derivados se genera impacto ambiental, cuyo origen se tiene en la extracción de los recursos naturales para el proceso de fabricación y en el consumo de energía.

La transformación de los residuos del agave en productos de alto valor con aplicación en la fabricación tradicional de adobes es una justificación relacionada con los principios de la economía circular, donde el reciclaje de residuos coadyuva a la disminución de costos en la construcción de viviendas en el medio rural ya que los recursos tierra y vegetación están disponibles en las comunidades, además, esta estrategia incrementa el valor de los agaves.

Los resultados de la investigación demuestran que los cuatro tipos de adobes pueden ser utilizados para la construcción de muros, sin embargo, el adobe elaborado con mezcla de arcilla y residuos de bagazo del *Agave angustifolia* Haw. es la mejor alternativa, ya que presentó mayor resistencia a la fuerza de compresión, así como el tiempo y costo de elaboración, también son menores.

# Métodos y materiales

La investigación se realizó en 2019 y 2020, en la región centro-oriente del municipio de Zumpahuacán, Estado de México, donde precisamente crecen y se desarrollan diversas variedades de agaves. En esta investigación se seleccionó a la comunidad de Santa María la Asunción, donde se manejan plantaciones de *Agave angustifolia* Haw., además, existen infraestructuras "fábricas" donde se realiza el proceso de destilación de mezcal. Con técnicas de trabajo de campo en asociación con el método geográfico se realizó la caracterización de la comunidad de Santa María La Asunción en sus dimensiones geográficas y ambientales. En campo se identificó la existencia de agaves en las comunidades de la región centro-oriente del municipio, aplicando al mismo tiempo, las técnicas de observación directa y observación participante durante la cosecha de agaves, obtención de las fibras y residuos, elaboración del mezcal y la conformación de los adobes. Con el método etnohistórico se recopiló información de las condiciones socioculturales de la comunidad, antecedentes de las viviendas construidas con adobes y materiales

Con Texto Humano ISSN: 2954-5021 Vol. 1 Núm. 1. julio / diciembre 2022

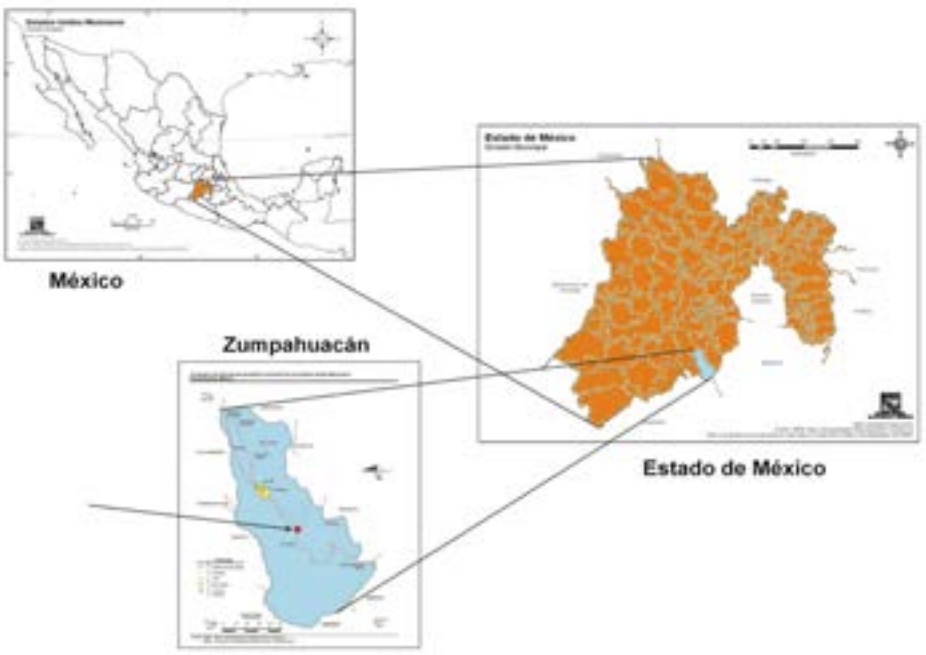
convencionales, uso tradicional del adobe, elaboración del mezcal, conocimiento de los componentes ambientales, elaboración de adobes y usos de los residuos de agave.

Se estructuró un instrumento de investigación (cuestionario) con 15 preguntas para conocer el manejo del *Agave angustifolia* Haw., hábitat donde prospera, manejo de los residuos del agave, usos de los residuos por parte de las familias, importancia económica, estrategias para su conservación y elaboración de los adobes. El cuestionario se aplicó al 100 % de las familias de la comunidad (principalmente a hombres y mujeres mayores de 18 años). Mediante entrevistas con los productores de mezcal y propietarios de terrenos con plantas de agave se complementó la información sobre su importancia, la elaboración del mezcal, obtención y manejo de fibras y residuos, así como la percepción sobre futuros usos de los adobes para la construcción de muros de viviendas.

Con el método estadístico se hizo el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, estableciendo comparaciones entre los parámetros analizados, así como los datos recopilados en los cuestionarios y las entrevistas. Los resultados se presentan en tablas y una gráfica de radar.

La comunidad de Santa María la Asunción (Figura 1), está ubicada en las coordenadas 18° 48´ 55. 464´´ latitud norte y 99° 33´ 44. 912´´ longitud oeste y altitud promedio de 1858 msnm (Inegi, 2010). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 18,2 °C y precipitación promedio anual de 1052,2 mm, el mes más lluvioso es agosto y en promedio llueve 81,7 días. El agua es escasa, está presente en escurrimientos y manantiales temporales. Los suelos son arcillosos y predomina la vegetación de selva baja caducifolia, siendo significativas las especies de agaves y matorrales.

Figura 1. Santa María la Asunción en el contexto del municipio de Zumpahuacán, México




Fuente: Elaboración propia con base en mapas de Inegi, 2009.

La comunidad tiene una población de 450 habitantes, dedicados a la agricultura de temporal, cultivan maíz, frijol y calabaza y elaboran algunos productos y artesanías con fibras naturales. La economía se complementa con la elaboración de mezcal, principalmente del *Agave angustifolia* Haw., que crece y se cultiva en lomeríos. En la región, el proceso de elaboración de mezcal tiene casi cien años. La comunidad tiene en promedio 87 viviendas, cuyos muros en su mayoría están construidos con adobes tradicionales (tierra, arcilla y gramíneas), con materiales convencionales o combinación

de ambos. La transición en el uso de materiales tradicionales es notoria, pues algunas viviendas están construidas con los dos tipos de materiales, situación observada en aquellas cuyos propietarios son mayores de 70 años. Las viviendas más antiguas datan de 1930, están construidas con adobes (Figuras 2 y 3) y están en buenas condiciones infraestructurales, aunque algunas presentan deterioro por factores hidrometeorológicos y los sismos ocurridos en 2018.

Figuras 2 y 3. Casas tradicionales construidas con ladrillos de arcilla (adobes). Santa María la Asunción, Zumpahuacán, México



Fuente: Elaboración propia (2019).

## Obtención del material edáfico y fibras

La arcilla (barro) fue obtenida del entorno natural adyacente al alambique -fábrica de mezcal- "La Perla del Cascomite". Se extrajeron dos metros cúbicos (seis carretillas) de material edáfico. El material fue limpiado y cribado con el arnero de malla número seis para extraer residuos sólidos orgánicos (basura). Se recogieron 20 kg de arena de un río temporal próximo a la comunidad. En esta investigación el sr. José Luis Medina Millán, propietario del alambique, proporcionó las fibras naturales y residuos de bagazo del agave, mientras el sr. Tomás Vieira Vega preparó los materiales, herramientas y la mezcla para la conformación de los cuatro tipos de adobes.

Las fibras naturales se obtuvieron de las hojas (pencas) del agave, después de haber realizado la cosecha para la preparación del mezcal. Las hojas fueron colocadas sobre una base de madera rectangular con bordes lisos, rasgadas con machete y talladas con cepillo de alambre, hasta obtener las fibras naturales (Figura 4). Durante una jornada de ocho horas se obtuvieron ocho kilogramos de fibras naturales. El bagazo es un residuo del proceso de trituración y molienda de las piñas de agave cocidas para la obtención del mezcal. Los residuos de bagazo se recogieron de los montículos adyacentes al alambique, éstos se lavaron para disminuir la celulosa y posteriormente fueron colocados sobre una capa de plástico para ser secados por acción de los rayos solares durante tres días (Figura 5). Se obtuvieron 16 kg de residuos de bagazo, los cuales tenían una longitud entre 25 mm y 2000 mm.

## Instrumentos, equipos y herramientas

Las herramientas e insumos utilizados para la obtención de materiales, preparación de la mezcla y conformación de los adobes fueron: carretilla, palas, machetes, picos, azadones, arnero con malla número seis, cepillo de alambre, flexómetro, escuadra, navaja, molde de madera, regla de madera y recipientes. Durante las pruebas de laboratorio se utilizó una báscula digital Braunker YP-200 con capacidad de 500 kg y superficie de 70 x 70 cm, una báscula digital con capacidad de un kilogramo y una máquina de pruebas a compresión modelo Forney QC-150-DR.

Fotografías 4 y 5. Fibras naturales y residuos de bagazo de Agave Angustifolia Haw.



Fuente: Elaboración propia (2019).

## Preparación de la mezcla y elaboración de adobes

La preparación de las mezclas y la elaboración de los cuatro tipos de adobe se sustentaron en el conocimiento tradicional campesino, tanto del propietario del alambique como del participante voluntario, por lo que no fueron consideradas las proporciones exactas de los insumos. El responsable de esta actividad fue el sr. Tomás Vieira Vega, quien con base en su conocimiento tradicional determinó que la mezcla ideal debe contener 25 % de barro/arcilla y 75 % de tierra, arena, agua y fibras.

De cada tipo de adobe se elaboraron seis piezas. Fue necesario 0,75 $cm^3$ de tierra/arena, 0,25 $cm^3$ de arcilla (barro), tres botes (recipientes) con agua (58 litros) y 36 manojos de fibras (3 kg). Después de mezclar la tierra, arena y arcilla, y cuando la mezcla presentó una consistencia pastosa y pegajosa, fueron agregadas y mezcladas las fibras para los cuatro tipos de adobe. La mezcla obtenida fue vaciada en moldes de madera y para obtener perfiles y superficies regulares, fue enrasada con una regla de madera.

El conocimiento tradicional de los participantes fue notorio al momento de preparar la mezcla, elaborar los adobes, extraerlos y secarlos. Con este conocimiento se determinó lo siguiente: sí, al retirar el molde, el adobe se deforma, significa que la mezcla tiene mucha agua, sí se agrieta, fisura o rompe, entonces la mezcla está seca y requiere agua. Después de conformar cada adobe, el molde fue limpiado y espolvoreado con arena antes de proceder a la preparación de los restantes, esto para evitar adhesión de la mezcla (Aguilar, 2012). La extracción del adobe del molde se hace mediante un movimiento firme hacia arriba, el propio peso del adobe y la fuerza de gravedad facilitan su extracción. Después de haber sido expuestos los adobes a los rayos solares por 45 días, éstos fueron transportados al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) para determinar peso, volumen, peso volumétrico, porcentaje de absorción de agua y resistencia a la compresión.

## Resultados

Las hojas del *Agave angustifolia* Haw. miden entre 40 y 60 cm, de cada una se puede obtener 50 g de fibras, cantidad determinada por la calidad del rasgado y tallado. Durante una hora es posible obtener aproximadamente un kilogramo de fibras. Los adobes de Santa María La Asunción son elaborados de manera artesanal y con base en el conocimiento tradicional (Figuras 6 y 7) asociado con las características del relieve, suelo, vegetación natural, color, textura, estructura, olor, sedimentación, plasticidad, cohesión, granulometría y fisuras.

Figuras 6 y 7. Preparación de materiales y elaboración artesanal de ladrillos de arcilla (adobes). Santa María la Asunción, Zumpahuacán, México.



Fuente: elaboración propia (2019).

## Determinación de propiedades de los adobes

Primero se determinaron las dimensiones y el volumen de cada una de las piezas de los cuatro tipos de adobe: longitud (40 cm), amplitud (20 cm), altura (14 cm) y un peso promedio de 17, 5 kg. La resistencia a la compresión es la capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o presionarlo. Los adobes fueron cubiertos con una capa de arena fina para favorecer una mejor distribución de la fuerza de compresión, de tal manera que, la presión ejercida al adobe fuese homogénea. Se aplicó fuerza de compresión a cada uno de los tipos de adobe hasta alcanzar la falla y se registró el valor.

La capacidad de absorción se determinó con dos tipos de pruebas (una rápida y una completa). En la primera, el peso de los adobes se hizo en seco, sumergiéndolos solamente 2 cm en agua y después de 30 minutos se registró el peso. En la prueba completa, los adobes fueron pesados en seco, después se sumergieron en agua (con temperatura de 21 °C) durante 24 horas y posteriormente se registró el peso saturado. Al final se obtuvo el porcentaje de la capacidad de absorción.

Al comparar las pruebas del adobe tradicional y el adobe elaborado con residuos de bagazo, este último tiene 26.4 % mayor resistencia a la compresión (4, 386 MPa), condición favorable para la construcción (Tabla 1). Con relación a los costos y tiempo de elaboración, la obtención de fibras naturales de agave requiere de un proceso artesanal de rasgado y raspado, por lo que, aquellos conformados con este tipo de composición serían más costosos y requieren más tiempo. Los adobes de los tipos 2, 3 y 4 registraron menor peso en seco y húmedo (Tabla 2) en comparación con el adobe tradicional.

Tabla 1. Resistencia a compresión de los cuatro tipos de adobes

| Muestra (tipo de adobe) | Composición de la mezcla | Tiempo de elaboración (horas) | Fuerza ejercida (kgf) | Área de contacto ($cm^2$) | Resistencia a la compresión ($kgf/cm^2$) | Resistencia a la compresión (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Arcilla y zacate (adobe tradicional) | 2 | 13800 | 418 | 33,014 | 3,239 |
| 2 | Arcilla y residuos de bagazo | 3 | 18700 | 419 | 44,4730 | 4,386 |
| 3 | Arcilla y fibras naturales de agave | 6 | 14000 | 418 | 33,412 | 3,278 |
| 4 | Arcilla, residuos de bagazo y fibra de agave | 5 | 17400 | 419 | 41,521 | 4,074 |

Fuente: Elaboración propia con base en pruebas de laboratorio.

Tabla 2. Peso y capacidad de absorción de los cuatro tipos de adobes

| **Muestra (tipo de adobe)** | **Composición de la mezcla** | **Peso en seco (kg)** | **Peso saturado (kg)** | **Capacidad de Absorción (%)** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Arcilla y zacate (adobe tradicional) | 18,20 | 20,55 | 12,91 |
| 2 | Arcilla y residuos de bagazo | 17,20 | 19,50 | 13,37 |
| 3 | Arcilla y fibras naturales de agave | 18,10 | 20,50 | 13,25 |
| 4 | Arcilla, residuos de bagazo y fibras de agave | 17,40 | 19,80 | 13,79 |

Fuente: Elaboración propia con base en pruebas de laboratorio

Como se muestra en la Gráfica 1, las líneas de los polígonos más próximas a la parte exterior de la figura, indican que el adobe elaborado con arcilla y bagazo presenta las mejores condiciones para la construcción de viviendas en Santa María la Asunción, registró mayor resistencia a la compresión, sin embargo, existe una desventaja con respecto al porcentaje de absorción de agua, lo cual indica que, a largo plazo el material será frágil, por lo que, los techos de las viviendas deben ser amplios para proteger los muros y evitar su deterioro por contacto con la lluvia. La comunidad tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, entonces, el grado de absorción de este adobe no sería significativo y no afectaría a los muros.

Con relación a la percepción y conocimiento de las familias campesinas se analiza lo siguiente: 93 % de las familias se dedican a la agricultura de temporal, producción de mezcal y actividades de construcción, 30 % mencionaron no conocer los usos del

bagazo ni las fibras naturales del agave para la conformación de adobes, 62 % expusieron que el bagazo es utilizado como abono (composta) para las plantas, 91 % afirmó no conocer proyectos relacionados con el uso de residuos de bagazo.

Las viviendas tienen una antigüedad entre 31 y 90 años, están construidas con los siguientes materiales: ladrillos de adobe y cemento (25 %), únicamente adobe (15 %), de ladrillos de adobe y concreto (11 %), de ladrillos de concreto y lámina (16 %), únicamente de ladrillos de concreto (17 %), de ladrillos de concreto y madera (4 %), de ladrillos de adobe y piedra (8 %) y de ladrillos de adobe, madera y otros recursos vegetales propios de la comunidad (4 %).

En relación con las cualidades de los materiales para construcción de muros de vivienda, 36 % de los entrevistados y encuestados prefiere que los materiales para la construcción de viviendas sean resistentes y de buena calidad, 32 % señaló tener preferencia por materiales baratos, 13 % refirió el uso de materiales térmicos (adobe), 8 % prefiere materiales ecológicos (madera, palma y otros recursos vegetales propios de la comunidad) y 11 % expuso la preferencia de materiales fabricados en la comunidad.

Respecto a la comparación entre ladrillos de arcilla y ladrillos de concreto, 82 % de las familias considera que los primeros son mejores que los segundos, es decir, tradicionalmente siempre han sido utilizados, sólo 18 % opina que los ladrillos de concreto son más resistentes que los adobes tradicionales elaborados en la región. 94 % de las familias estarían dispuestas a utilizar los ladrillos elaborados con arcilla y bagazo de agave para construir los muros de las viviendas, aunque, consideran que los ladrillos de concreto son más fáciles de adquirir, accesibles y asequibles, sin considerar que el adobe en su proceso de elaboración y construcción no provoca impactos ambientales.

El adobe tradicional utilizado en la comunidad para la construcción de muros de viviendas ha sido elaborado con mezcla de arcilla (barro), zacate silvestre (gramíneas) y agua, tiene mínima capacidad de absorción de agua (12, 91 %), por lo tanto, al estar en contacto con la lluvia, el deterioro es mínimo.

Gráfica 1. Comparativo de propiedades de los cuatro tipos de adobes

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Tabla 1.




Con Texto Humano ISSN: 2954-5021 Vol. 1 Núm. 1. julio / diciembre 2022

# Discusión y conclusiones

La discusión de los resultados es general y asociada solamente con algunos estudios del uso de fibras de agave para conformar ladrillos de adobe, esto en virtud de que las condiciones geográficas donde crecen los agaves, así como las características de las plantas, las propiedades de la arcilla, las técnicas de obtención de fibras y residuos de bagazo, los insumos, las proporciones de los componentes, así como las técnicas de elaboración y los métodos y equipos para determinar las propiedades físicas son diferentes en cada investigación, situación que genera resultados peculiares, pues como lo mencionan Uribe *et al.* (2015), el adobe es un material artesanal y su composición varia notablemente de una región a otra, por eso, no es pertinente extrapolar resultados entre las investigaciones, toda vez que las proporciones de materiales y sus características están determinados por factores técnicos, térmicos, mecánicos y ambientales. En la elaboración de adobes existe disparidad de criterios en la composición, color, textura, estructura y plasticidad de la mezcla, principalmente en los porcentajes de los materiales y en el tipo de fibras utilizadas.

En todos los países las características de los materiales, las proporciones de la mezcla y las dimensiones de los adobes son diferentes, en este sentido, el conocimiento tradicional de los campesinos de Santa María La Asunción se refleja en la técnica artesanal de elaboración y las propiedades de los adobes, y coincide con los siguientes criterios: mayores porcentajes de arena incrementan la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas de la mezcla; un mayor nivel de compactación ayuda a disminuir los huecos o poros. Este conocimiento está asociado con lo expuesto por Cuitiño *et al.* (2020), quienes determinan la siguiente relación: a mayor compactación disminuye la porosidad, o porcentaje de aire contenido en el interior.

Cuando los suelos tienen excesiva plasticidad, entonces, es mayor la cantidad de agua contenida en la mezcla y el material es más moldeable, pero al secarse los adobes, la retracción será mayor, ya que se evapora mayor volumen de agua (Uribe *et al.,* 2015). Los adobes de la comunidad son elaborados con base en el conocimiento tradicional familiar. Saroza *et al.* (2008), proponen que no existe consenso específico ni sugerencias para determinar los porcentajes de arena y arcilla que debe contener el suelo o la mezcla para hacer los adobes, pero el porcentaje de arcilla siempre debe ser superior al 15 % para favorecer que la mezcla tenga suficiente cohesión, porcentaje similar a las proporciones consideradas en este estudio.

El bagazo y las hojas de agave son residuos de la elaboración del mezcal, por lo que, representan un valor agregado a la planta de agave. Al utilizar los residuos se evitan acumulaciones en los terrenos y afectaciones al paisaje e impactos ambientales en las comunidades. Bestraten *et al.,* (2011) refieren que el ladrillo de adobe es un material con propiedades sostenibles, ya que provoca mínimos impactos ambientales en su elaboración, uso y transporte. Esta técnica ecológica y sustentada en el conocimiento tradicional de las familias puede solucionar problemas de vivienda en la región.

Los adobes reforzados con fibras de agave son esenciales para la bioconstrucción y pueden coadyuvar a la economía circular comunitaria, pues incluye procesos asociados con acciones que protegen la vida y valoran los materiales utilizados en la construcción, considerando los mecanismos de su manejo, uso y reincorporación a la naturaleza. El uso de adobes reforzados con fibras puede satisfacer las necesidades de vivienda, son baratos y fáciles de elaborar.

El concepto de economía circular, según Lett (2014), propone un cambio al paradigma: reducir, reutilizar y reciclar, por una transformación más profunda y duradera que disminuya el impacto ambiental generado por las actividades humanas no sustentables. Este modelo otorga al residuo un papel dominante, se trata de un modelo cíclico que imita a la naturaleza y se conecta con ella. El residuo se convierte en materia prima de los ciclos naturales o es transformado para obtener nuevos productos. Los adobes conformados con residuos de agaves son nuevos productos, además, la arcilla (barro) es un material local, fácil de manejar, barato y amigable con el ambiente.

Según Vera y Miranda (2004), la resistencia a la compresión promedio del adobe fabricado en México tiene un rango entre 1,81 Megapascales (MPa) (1,45 kg/cm$^2$) y 7,57 Megapascales (MPa) (77,19 kg/cm$^2$). El adobe de la muestra dos, es decir, el elaborado con arcilla y bagazo registró mayor resistencia a la compresión (4,386 Mpa) (44,730 kgf/cm$^2$), superando los valores de las muestras uno, tres y cuatro. En cuanto al peso en

seco, el adobe elaborado con arcilla y bagazo registró menor peso (18,20 kg), siendo el más ligero y el más recomendable para la construcción de muros de vivienda. Por otra parte, el adobe elaborado con mezcla de arcilla, bagazo y fibras naturales registró mayor porcentaje de absorción (13.79 %), pero este parámetro no es significativo para su uso en la construcción de muros para vivienda en la comunidad, toda vez que, la precipitación local tiene un promedio de 81,7 días.

Los habitantes mayores de 60 años reconocen y valoran su conocimiento tradicional sobre el manejo de recursos naturales, materiales y técnicas para destilación y conformación de adobes, sin embargo, este conocimiento está desapareciendo, ya que a las nuevas generaciones no les interesa o tienen mínimo interés en conocer y aprender estas técnicas, por lo que, la sistematización del conocimiento tradicional es una prioridad urgente en la comunidad, además, la conformación de adobes con fibras naturales o bagazo puede preservar elementos de identidad cultural y promover el desarrollo local sostenible.

La elaboración de ladrillos de adobe con residuos de agave es una alternativa de alto valor agregado mediante la producción de biomateriales para la construcción de muros de viviendas. De esta manera, los productores de mezcal podrán utilizar los residuos como materia prima para hacer otros productos y contribuir al desarrollo local. Estudios realizados por Hidalgo *et al.* (2015), demuestran que el bagazo es un material de desecho y que tiene potencial para diversas aplicaciones, por lo que, representa alternativa de valor agregado para producir materiales de construcción amigables con el ambiente. Las hojas y el bagazo son subproductos de la destilación y con valor agregado, pero no se ha investigado lo suficiente, por lo que es prioritario su estudio para producir nuevos prototipos de biomateriales.

El adobe de arcilla con residuos de bagazo tiene 26.16 % mayor resistencia a la compresión que el adobe tradicional, condición favorable para la construcción de muros de viviendas. Caballero *et al.* (2010) agregaron residuos de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. a los adobes compactados y demostraron que éstos tenían mejores propiedades mecánicas en comparación con los adobes tradicionales. Los datos reportados para Santa María la Asunción son diferentes a los datos reportados por estos autores, principalmente en las dimensiones, proporción de fibras y resistencia a la compresión, ya que al agregar bagazo a los adobes compactados se incrementa la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

En el sistema constructivo natural del adobe, la mayor parte de energía para la producción es solar, debido a que la forma de secado es al aire libre y al sol (Cuitiño *et al*., 2020). La adición de fibras confiere a los adobes mayor resistencia a la compresión, resultado que se comprueba en las pruebas físicas aplicadas a los cuatro tipos de adobes de esta investigación, los cuales no presentaron grietas durante su secado, manejo, traslado y aplicación de ensayos.

Lejano y Pineda (2018) al estudiar los efectos de tres fibras naturales sobre la resistencia de bloques de tierra estabilizados y comprimidos, determinan y afirman que los bloques que contienen fibras de agave (maguey) presentan mayor resistencia a la compresión en seco y mayor resistencia a la flexión, situación que se explica por el efecto de unión de las fibras. Los resultados obtenidos en este artículo son similares a los reportados por Lejano y Pineda, aunque los autores no especifican la especie de agave utilizada.

Para mejorar las propiedades de los ladrillos de adobe, Olivera *et al.* (2018) agregaron fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. con longitud de 10 a 25 mm y una concentración de 0.5 a 1 % a la mezcla de arcilla. Con estas proporciones se mejora la resistencia a la compresión y flexión en 33 % y 7.01 %, respectivamente. Estos ladrillos de adobe y los elaborados en Santa María La Asunción son similares, desde luego, es importante aclarar que en la comunidad no se consideraron concentraciones sino proporciones de materiales, por supuesto, los métodos utilizados también fueron diferentes.

La técnica de elaboración de adobes en la comunidad es artesanal y sustentada en el conocimiento tradicional de los recursos naturales. Es urgente la sistematización del conocimiento tradicional -campesino y ecológico-, determinar otras propiedades de los adobes, fomentar en las comunidades de la región la reutilización de los residuos de agave y reivindicar la importancia de continuar con el manejo de fibras de izote y palma, así como otros residuos del proceso de elaboración del mezcal.

# Referencias

Aguilar Prieto, B. (2012). Construir con adobe: fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo. Trillas.

Bañuelos Flores, N. y Salido Araiza, P. (2012). El mezcal en Sonora, México, más que una bebida espirituosa. Etnobotánica de *Agave angustifolia* Haw. En *Estudios Sociales, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, (2), 173-197.

Barrientos Rivera, G., Esparza Ibarra, E. L., Segura Pacheco, H., Talavera Mendoza, O., Sampedro Rosas, M. L. y Hernández Castro, E. (2019). Caracterización morfológica de Agave angustifolia y su conservación en Guerrero, México. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10*(3), 655-668. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554.

Bautista Cruz, A., López Cervantes, T., Báez Pérez, A., Pérez Pacheco, R. y Robles Martínez, M. D. L. (2015). Dynamics of biochemical soil properties in rainfed Agave angustifolia Haw. Fields in seminarid zone. En *Pakistan Journal Botany*, *47* (5), 1909-1919. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554.

Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E. y Altemir Montaner, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. En *Informes de la construcción, 63(*523), 5-20. DOI: https://doi.org/10.3989/ic.10.046.

Caballero Caballero, M., Silva Santos, L. y Montes Bernabé, J. L. (2010). Resistencia mecánica del adobe compactado incrementada por bagazo de agave. *Memorias del XVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*. 22-24 de Septiembre, Monterrey.

Colunga García, P., Larqué Saavedra, A., Eguiarte, L. y Zizumbo Villarreal D. (Eds.). (2007), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY, CONACYT, CONABIO, INE.

Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R. & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. En *Revista De Arquitectura, 22* (1), 138–151. DOI: https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348.

Domínguez Vega, W. (2010). La Arquitectura de tierra es una herencia humana. En *Ciencias Holguín, 16* (1), 1-7.

De la Peña Sobarzo, P. (2008). Hacia el rescate del agave comiteco. En *El faro, 87*, 7-9.

García Mendoza, A. (2007). Los agaves de México. En *Ciencias*, 87, 14-23.

Hidalgo Reyes, M., Caballero Caballero, M., Hernández Gómez, L. H. y Urriolagoitia Calderón, G. (2015). Chemical and morphological characterization of Agave angustifolia bagasse fibers. En *Botanical Sciences, 93* (4), 807–817. DOI: https://doi.org/10.17129/botsci.250.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). *Prontuario de Información Geográfica de los Estados Unidos Mexicanos*.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). *Archivo Histórico de localidades geoestadísticas.* Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/geo2/ahl/.

Juárez, C., Valdez, P. y Durán, A. (2002). Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. En *Revista Ingeniería de Construcción, 21*(3), 225-234.

Lejano, A. Alejandro y Pineda, D. K. S. (2018). Investigation of the effects of different natural fibers on the strength of Compressed Stabilized Earth Blocks (Cseb). En *International Journal of GEOMATE, 14*(42), 37–43. DOI: https://doi.org/10.21660/2018.42.7142.

Lett, L. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. En *Revista Argentina de Microbiología*, *46*(1), 1-2. DOI: https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2.

Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2000). En *Norma Técnica de edificación E.080. Lima, Perú.* Disponible en: https://www.sencico.gob.pe/descargar.

Olivera, A., Caballero Caballero, M., Alavéz Ramírez, R., Chiñas Castillo, F., Montes Bernabé, J. L. y Silva Rivera, M. E. (2018). Biocompuesto cemento tepexil reforzado con fibras de *Agave angustifolia* Haw. como mortero ligero. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *1* (21), 4406-4415. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1531.

Uribe, C. D., Ramos, A. M. & Camacho, J. F. (2015). *Caracterización de unidades de adobe sometidas a radiación uva*. Disponible en: http://hdl.handle.net/10554/22931.

Vega, P., Juan, A., Ignacio Guerra, M., Morán, J.M., Aguado, P. J. y Llamas, B. (2011). Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain. En *Construction and Building Materials, 25* (7), 3020-3023. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.02.003.

Vera, S. y Miranda, R. (2004). Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería en la República Mexicana. En *Primera conferencia Internacional de Sismos, Santiago de Cuba.*

Velasco Bautista, E., Zamora Martínez, M. C., Espinosa Paz, H., Sampayo Bautista C. y Moreno Sánchez, F. (2009). *Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: agaves mezcaleros* (*Manual Técnico Núm. 3)*. México, Inifap.

Zizumbo Villarreal, D., Vargas Ponce, O., Rosales Adamé, J. y Colunga García, P. (2013). Sustainability of the traditional management of agave genetic resources in the elaboration of mezcal and tequila spirits in western Mexico. En *Genetic Resour Crop Evol*, *60*(1), 33-47. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10722-012-9812-z.