



ELABORACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA Y AGREGADO DE NOPAL PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DURABILIDAD.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA

PRESENTA:

ING. ADOLFO ROBLES ROJO

DIRECTOR DE TESIS

DR. SANTIAGO ARCEO DIAZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. JORGE ARMANDO OJEDA SÁNCHEZ

Villa de Álvarez, Col. 22 agosto del 2022.





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Villa de Álvarez, Colima, **16/Agosto/2022**
Oficio No. DEPI.1.2.1.1/152/2022

**ROBLES ROJO ADOLFO
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA
PRESENTE**

La División de Estudios de Posgrado e Investigación de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la comisión revisora hizo a su trabajo profesional:

"ELABORACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA Y AGREGADO DE NOPAL PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DURABILIDAD"

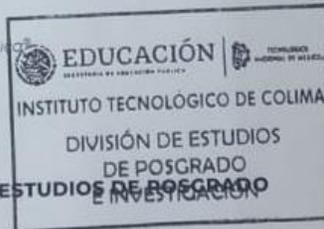
Por la opción de tesis, que para obtener el grado de **MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA** será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica

PETER CHUNG ALONSO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



Ccp. Archivo

PCA/cas*



Av. Tecnológico #1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 Ext: 113 y 213
Correo electrónico: posgrado@colima.tecnm.mx www.colima.tecnm.mx



2022 Flores
aniversario
Magón

Agradecimientos

A Dios: Por acompañarme en todo momento para predicar el bien.

A mi familia: Por estas siempre presentes, apoyarme y compartir en los momentos importantes.

A mi tutor el Dr. Santiago Arceo Díaz: Por su determinación y guía en la maestría, sus consejos profesionales y con calidad humana fueron claves para desarrollar esta investigación.

A mi coasesor el Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez: Por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar la estancia de investigación de tesis.

A la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería civil de la Universidad de Colima: Por permitirme desarrollar las estancias necesarias para el desarrollo de este trabajo.

A mis maestros: Por acompañarme en este proceso de aprendizaje. Me llevo sus enseñanzas y consejos para ponerlos en práctica con la sociedad.

A mis compañeros: Por regalarme momentos inolvidables en los que aprendí divirtiéndome a su lado, les deseo lo mejor en su vida y espero verlos felices triunfando.

Al Instituto Tecnológico de Colima: A todo el personal de la institución que facilitó mi estancia para culminar la maestría. Muchas gracias por ser parte de mi formación como maestrante.

A mí mismo: Por la determinación y lealtad con mis metas. Me comprometo a seguir ayudando a mejorar la sociedad a través de propuestas innovadoras en lo profesional. A continuar practicando los valores inculcados por mis padres. A poner el ejemplo para con los que me rodean y ayudar al que lo necesite.

Índice

Elaboración De Bloques De Adobe Con Fibras De Bagazo De Caña Y Agregado De Nopal Para Mejorar La Resistencia A Compresión Y Durabilidad	3
Planteamiento Del Problema	4
Justificación Del Tema De Investigación	4
Pregunta De Investigación	6
General	6
Específicas	6
Hipótesis	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Metodología	7
Obtención Del Material Para Adobe	7
Obtención De Las Fibras De Bagazo De Caña	8
Preparación Del Nopal	11
Proporción De Las Mezclas Para Los Bloques	12
Producción De Los Bloques Para Medir Resistencia Mecánica A Compresión Simple	13
Producción De Bloques De Control Y Los Experimentales	14
Obtención De Los Bloques	15
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña	16
Sitios De Análisis De Pruebas De Compresión	17

Producción De Los Bloques Para Medir Parámetros Físicos De Los Bloques	19
Método De Ensayo Para Las Pruebas Térmicas	22
Caracterización De Los Materiales	28
Procedimiento para determinar el límite líquido con la Copa de Casagrande	29
Procedimiento para determinar límite plástico	30
Análisis granulométrico	30
Alcances Y Limitaciones	39
Marco Normativo	39
Prueba De Compresión	39
Absorción De Agua	39
Propiedades Físicas De Los Materiales	40
Estado Del Arte	40
Tierra Comprimida Y Adobes	40
Tierra Con Fibras	44
Recubrimientos Para Adobe	49
Propiedades Termo Físicas En Adobes	53
Marco Conceptual	55
Resultados Obtenidos	60
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña	60
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 5% Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña Con 6 Meses Almacenados	65

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña	69
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento	73
Prueba De Absorción De Agua	78
Bloques De Adobe Con 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña	78
Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña Y Nopal	82
Propiedades Termo Físicas	87
Resultados Bloques De Adobe Con 5 y 10% De Fibra De Bagazo De Caña	87
Resultados Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña	87
Discusión Y Análisis De Los Resultados	90
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña	90
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña Con 6 Meses Almacenados	93
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña	94
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento	97
Prueba De Absorción De Agua	97
Propiedades Termo Físicas De Los Materiales	99
Conclusiones	102

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña	102
Prueba De Compresión En Bloques Con 6 Meses Almacenados	102
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña	103
Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento	103
Prueba De Absorción De Agua	104
Propiedades Termo Físicas De Los Materiales	105
Conclusión General	105
Referencias	109

Lista de tablas

Tabla 1 Proporciones de mezcla	12
Tabla 2 Proporciones de mezcla	13
Tabla 3 Muestra de suelo fino	30
Tabla 4 Análisis del límite líquido con la Copa de Casagrande	34
Tabla 5 Análisis del límite plástico con los rollitos e índice de plasticidad	37
Tabla 6 Resultados de las pruebas para cada tipo de mezcla	60
Tabla 7 Resultados de bloques almacenados 6 meses	65
Tabla 8 Compresión en bloques de adobe con 7% de agregado de fibra para probar su resistencia y la influencia de la geometría de las fibras.	70
Tabla 9 Esfuerzos normales y deformaciones de bloques de adobe con 5, 7 y 10% de fibra	73
Tabla 10 Compresión de bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña y nopal	73
Tabla 11 Pesos húmedos de cada mezcla con nopal que sobrevivieron 24 horas en inmersión al agua	86
Tabla 12 Conductividad térmica de bloques de adobe de la primera familia	87
Tabla 13 Bloques de adobe con 7% de fibra	88
Tabla 14 Bloques de adobe, 7% fibra y nopal exterior	88
Tabla 15 Bloques de adobe, 7% de fibra y nopal mezclado.	89
Tabla 16 Bloques de adobe con nopal como recubrimiento exterior.	89

Lista de figuras

Figura 1: Obtención de la tierra para adobe. Fuente: Google Maps.	8
Figura 2: Obtención de fibras. Fuente: Google Maps.	9
Figura 3: Fibra de caña en almacenes.	9
Figura 4: Fibra de caña en almacenes exteriores.	10
Figura 5: Montones de bagazo.	11
Figura 6: Preparación de nopal.	11
Figura 7: Molde para bloques.	14
Figura 8: Herramientas para elaborar bloques. Fuente: Elaboración propia	14
Figura 9: Bloques de adobe para prueba mecánica simple.	15
Figura 10: Bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña.	16
Figura 11: Análisis del esfuerzo normal y deformación en adobes con 7% de fibra de bagazo de caña.	17
Figura 12: Máquina para medir esfuerzos Shimadzu UH-500KNI.	17
Figura 13: Máquina universal para medir esfuerzos Tinius Olsen.	18
Figura 14: Aparato para medir propiedades termo físicas.	19
Figura 15: Probetas prueba térmica.	20
Figura 16: Medición propiedades térmicas.	20
Figura 17: Segunda familia de bloques.	22
Figura 18: Probeta agujerada para medir propiedades termo físicas.	23
Figura 19: Secado de probetas.	24
Figura 20: Lubricación de probetas.	24
Figura 21: KD2 Pro tomando lecturas térmicas.	25
Figura 22: Moldes para pruebas térmicas.	26
Figura 23: Cribado de suelo.	28
Figura 24: Determinación Límite líquido.	34
Figura 25: Determinación Límite plástico.	36
Figura 26: Secado al horno de muestra de suelo para LL y LP.	36
Figura 27: Absorción sin nopal min 10.	79

Figura 28: Absorción sin nopal 3.5 horas.	79
Figura 29: Absorción con nopal 1 hora bloques 1% fibra.	80
Figura 30: Absorción con nopal 3.5 horas bloques 1% fibra.	80
Figura 31: Absorción con nopal 1 hora.	81
Figura 32: Absorción 27 hrs.	81
Figura 33: Probetas de 5 y 10% al finalizar prueba absorción.	82
Figura 34: Bloques con 7% de fibra y nopal.	82
Figura 35: Bloques de adobe destruidos transcurrida prueba absorción transcurridos 10 minutos	83
Figura 36: Bloques de adobe con nopal min 30.	83
Figura 37: Bloques de adobe con 7% de fibra 8 horas transcurrida la prueba de absorción.	84
Figura 38: Bloques de adobe con fibra y bloques de adobe con fibra y nopal siguen estables después de 13 horas iniciadas prueba de absorción.	84
Figura 39: Bloques de adobe con fibra y nopal soportaron la prueba en el agua durante más de 24 horas.	85

Lista de gráficas

Gráfica 1: Curva granulométrica.	32
Gráfica 2: Curva de fluidez.	35
Gráfica 3: Esfuerzos normales para cada una de las cuatro iteraciones de la prueba de resistencia mecánica.	62
Gráfica 4: Deformación de los bloques.	63
Gráfica 5: Caja esfuerzo normal.	64
Gráfica 6: Caja de deformación.	65
Gráfica 7: Cajas de esfuerzo normal.	65
Gráfica 8: Deformación de bloques almacenados.	67
Gráfica 9: Variación de esfuerzos promedios de bloques de adobe con fibras al transcurrir 6 meses.	68

Gráfica 10: Variación de deformaciones promedios de bloques de adobe con fibras al transcurrir 6 meses.	69
Gráfica 11: Esfuerzo normal de bloques con 7% de fibra.	71
Gráfica 12: Deformación de bloques con 7% de fibra.	72
Gráfica 13: Esfuerzo normal de bloques de adobe con 7% de fibra.	75
Gráfica 14: Deformación de bloques de adobe con 7% de fibra.	76
Gráfica 15: Esfuerzo normal de bloques de adobe con fibra y nopal.	77
Gráfica 16: Deformación de bloques de adobe con fibra y nopal.	78

RESUMEN

Se elaboraron bloques de adobe con fibra de bagazo de caña de azúcar, con la finalidad de evaluar si presentan ventajas mecánicas, respecto a bloques de adobe tradicional. Se analizó el esfuerzo normal necesario para causar una fractura en los bloques, y la deformación asociada, en tres tratamientos experimentales y un tratamiento testigo, con la máquina de esfuerzos Shimadzu UH-500KNI. Estos bloques fueron diseñados tomando en cuenta las características de la máquina y la norma ASTM E8M.

Los resultados muestran que el agregado de fibra de bagazo de caña incrementa la resistencia mecánica y la elasticidad. Se encontró que con un porcentaje en peso de agregado de bagazo de caña de entre el 5 y 10 %, mostraron tanto un incremento en resistencia como en deformación previa a la fractura, respecto a la de los bloques hechos con adobe tradicional.

Además, las probetas se sometieron a prueba de absorción de agua por 24 horas. Se usó la fibra de mucílago de nopal como agregado estabilizador en las probetas. Los resultados muestran una mejora de durabilidad al estar sumergidas. Existe una relación directamente proporcional con el contenido de fibra de bagazo de caña que impacta positivamente la estabilización de las probetas.

Por último, se analizó las propiedades termo físicas de los bloques de adobe con la fibra de bagazo de caña con la intención de comprobar en qué medida las fibras impactan a los bloques de adobe para propiciar una mejora en el comportamiento térmico. Se analizaron las conductividades y resistencias térmicas, los calores específicos volumétricos y las difusividades en diferentes porcentajes de fibra similar a con las pruebas mecánicas.

Palabras clave: Adobe, construcción, caña, conductividad térmica, deformación, esfuerzo normal, fibra, materiales naturales, prueba de absorción.

ABSTRACT

Adobe blocks were made with sugar cane bagasse fiber, to evaluate if they have mechanical advantages, compared to traditional adobe blocks. The normal stress necessary to cause a fracture in the blocks, and the associated deformation, were analyzed in three experimental treatments and a control treatment, with the Shimadzu UH-500KNI stress machine. These blocks were designed considering the characteristics of the machine and the ASTM E8M standard.

The results show that the addition of sugarcane bagasse fiber increases the mechanical strength and elasticity. It was found that with a weight percentage of cane bagasse aggregate of between 5 and 10 %, it showed both an increase in resistance and in deformation prior to fracture, with respect to blocks made with traditional adobe.

In addition, the specimens were subjected to a water absorption test for 24 hours. Nopal mucilage fiber was used as a stabilizer aggregate in the specimens. The results show an improvement in durability when submerged. There is a directly proportional relationship with the fiber content of sugarcane bagasse that positively impacts the certainty of the test tubes.

Finally, the thermophysical properties of the adobe blocks with the cane bagasse fiber were analyzed with the intention of verifying to what extent the fibers impact the adobe blocks to promote an improvement in thermal behavior. Thermal conductivities and resistances, volumetric specific heats and diffusivities were analyzed in different percentages of fibers like mechanical tests.

Key words: Adobe, construction, cane, deformation, fiber, natural materials, normal stress, thermal conductivity, water test.

Elaboración De Bloques De Adobe Con Fibras De Bagazo De Caña Y Agregado De Nopal Para Mejorar La Resistencia A Compresión Y Durabilidad

El sector de la construcción es uno de los que más desperdicios y contaminantes repercuten en la biosfera. Como profesional del sector es preocupante esta situación y por ende surge la necesidad de buscar alternativas ecológicas en materiales amigables con el entorno. Tal es el caso de las construcciones con tierra, en particular del adobe. Si bien, este tiene fragilidad estructural y de durabilidad comparado con la mampostería confinada, la investigación está centrada en atacar estas problemáticas a través de una propuesta fundamentada con materiales naturales a base de normas mexicanas y procedimientos normalizados que garantizan eficiencia y seguridad.

La metodología consiste en la elaboración de bloques de adobe con porcentajes de fibras naturales endémicas de la región. Se recolectaron los materiales. Se desarrollaron pruebas que involucran el esfuerzo normal, la interacción con el agua y las propiedades termo físicas. Por último, se analizaron los resultados.

A partir de los estudios anteriores se diseñaron mezclas con porcentaje de agregado de bagazo de caña y nopal. Se identificó la forma adecuada para la integración de los residuos vegetales a las mezclas. Se definió el arreglo experimental adecuado de acuerdo con las NMX- 4044 ONNCCE, NMX-037-ONNCCE, D5334-14 y la IEEE- 442. Se identificaron las proporciones adecuadas para los agregados vegetales y se definieron las ventajas constructivas.

Como parte de la mejora del material de adobe se eligió la fibra de bagazo de caña debido a que es un desecho abundante en el Estado de Colima, que si bien se usa para algunas actividades industriales los desperdicios son considerables, oportuno para amortiguar el impacto ambiental.

Planteamiento Del Problema

Las construcciones con ladrillos de tierra cocida han sido usadas desde las primeras civilizaciones (Yetgin et al., 2008). Sin embargo, los ladrillos de tierra cocida son causantes de emisiones de carbono considerables que repercuten en lo ambiental (Deboucha & Hashim, 2011). Además, la intensidad de explotación de los recursos naturales, la sobrepoblación, así como el uso no reglamentado de normativa vigente en el cuidado de los recursos por actividades industriales, ejercen un efecto marginante a la naturaleza (Doukas et al., 2006). También, se sabe que los ladrillos de tierra cocida generan una contaminación de hasta 10 veces más que un ladrillo ecológico a base de materiales naturales y potencialmente más costoso (Mujahid et al., 2011).

Por otro lado, investigaciones han demostrado que las construcciones a base de tierra demuestran un comportamiento mecánico deficiente comparado con materiales convencionales como el mortero (Rivera Torres, 2012). Otro factor determinante en las construcciones de adobe es la interacción con el agua, generalmente este tipo de materiales son vulnerables a los efectos de la humedad y efectos de la erosión y durabilidad (Sharma et al., 2016).

De lo anterior se puede decir que es importante innovar en materiales de construcción que sean amigables con el medio ambiente. En ese sentido, el Ingenio de Quesería de Colima dispone de fibra de bagazo de caña, un material de desecho que se puede emplear en la elaboración de bloques ecológicos a base de adobes.

Justificación Del Tema De Investigación

El sector de la construcción es uno de los que más deterioran el planeta, desde la explotación de los recursos naturales, contaminación acústica, del aire, del agua y terrestre (Aldana & Serpell, 2012). Además, el aumento descontrolado de la industrialización permite irregularidades para el control de normativas que verifiquen el impacto ambiental ocasionado por producción masiva de ladrillos de tierra cocidos (Sheikh, 2014). También, las mayores fuentes de contaminación durante la construcción

son a causa de las demoliciones y el impacto que se tiene con la flora y fauna del sitio. Además, los materiales naturales pueden emplearse para reducir este impacto (Valencia & Bolaños, 2016).

En contraste, las construcciones con tierra en comparación con los materiales convencionales como el ladrillo cocido y el concreto tienen rendimientos energéticos relativamente bajos, su contaminación es escasa prácticamente nula y la calidad del aire en las edificaciones se ve favorecida (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

De acuerdo con información del CONADESUCA (Comité Nacional Para el Desarrollo Sustentable de la Caña) para el año 2019, en el estado de Colima se producen un aproximado de 137,923 toneladas de caña de azúcar, posicionándolo como el décimo cuarto productor a nivel nacional. El ingenio de Quesería muele alrededor de 1 '201,082 toneladas de caña en temporada de zafra. Se reciben diariamente más de 234 camiones cargados con caña. Su capacidad de molienda es de 6,786 toneladas de caña por día.

El desperdicio de la caña derivado del proceso para obtención de azúcar se denomina “bagazo” y es un residuo fibroso resultante de la trituración, presión o maceración de frutos, semillas y tallos (Correa et al., 2015). En la actualidad, dicho desperdicio es utilizado para la elaboración de papel, biomasa vegetal, alimento para ganado y materia prima, su uso aún no está industrializado.

En el estado de Colima se registró cerca de 180,378 viviendas habitadas y solo 169, 117 tienen cubiertas de piso con materiales convencionales en la construcción y recubrimientos típicos de la región. Por lo tanto, quedan alrededor de 11,000 viviendas que no tienen un sistema constructivo (INEGI, 2011).

Actualmente se desconocen las cifras exactas de condiciones de viviendas, sin embargo, usar la tierra como material sustentable podría dar solución a miles de personas que no tienen hogar.

Pregunta De Investigación

General

¿Cuál es la ventaja que ofrece el adobe con agregado de bagazo de caña y nopal ante esfuerzos de compresión, absorción de agua y de propiedades termo físicas, respecto al material tradicional?

Específicas

¿Cuáles son las características de esfuerzo normal de la fibra del bagazo de caña?

¿Qué características de tamaño, concentración de humedad debe tener la fibra de bagazo de caña para facilitar su incorporación en una mezcla para bloques de adobe?

¿Es posible mejorar la resistencia ante esfuerzo de compresión, en bloques hechos con fibras vegetales y adobe, respecto a bloques hechos solo con tierra?

¿Es posible mejorar la interacción con el agua de los bloques de adobe con fibras vegetales al estar sumergidos en agua, respecto a bloques hechos solo con tierra?

¿Cómo sería la conductividad y resistencia térmica en bloques de adobe con fibras vegetales, respecto a bloques hechos solo con tierra?

¿Cuál sería el calor específico volumétrico en bloques de adobe con fibras vegetales, respecto a bloques hechos solo con tierra?

¿Cuál sería la difusividad de los bloques de adobe con fibras vegetales, respecto a bloques hechos solo con tierra?

Hipótesis

El bagazo de caña agregado a una mezcla de adobe y nopal mejoraría la resistencia, a compresión, deformación, absorción de agua y propiedades termo físicas de los bloques respecto a uno sin agregados.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la proporción de agregado de bagazo de y nopal caña óptimo de acuerdo con la resistencia mecánica, resistencia al agua, conductividad y resistencia térmica, calor específico volumétrico y difusividad.

Objetivos Específicos

- 1.- Identificar la forma adecuada para la integración de los residuos vegetales a las mezclas.
- 2.- Definir el arreglo experimental adecuado, de acuerdo con las normas correspondientes, para la realización de las pruebas.
- 3.- Identificar las proporciones adecuadas para los agregados vegetales, tal que se obtengan las propiedades óptimas para los bloques testigos.
- 4.- Definir las ventajas constructivas de los agregados en los bloques, de acuerdo con los resultados de las pruebas.

Metodología

En este apartado se describe el proceso que se llevó a cabo para cumplir con el objetivo de la investigación. Se describe cada proceso detalladamente y se anexan tablas y figuras para sintetizar información relevante.

El proceso metodológico de cada uno de los bloques de adobe consistió en la recolección de los materiales. Después se elaboraron los bloques. Posteriormente, se realizaron las pruebas correspondientes a cada bloque y por último se analizaron los resultados.

Obtención Del Material Para Adobe

La materia prima para la fabricación de adobe se obtuvo directamente de la "Ladrillera Padilla", ubicada en el municipio de Villa de Álvarez del estado de Colima, que

produce bloques de barro cocido (también conocido en la región del estado de Colima, México como ladrillo rojo) y su ubicación lo describe la Figura 1.



Figura 1: Obtención de la tierra para adobe. Fuente: Google Maps.

Obtención De Las Fibras De Bagazo De Caña

Durante el periodo de investigación inicial en que se comenzó a recaudar la fibra de bagazo de caña se realizaron varias visitas al ingenio de Quesería Cuauhtémoc, Col. Perteneciente al Grupo Beta San Miguel (Figura 2), donde con los permisos previos y con las medidas de seguridad del equipo de protección personal y ante Covid-19, se pudo acceder a las instalaciones de los almacenes y se observó la magnitud del desperdicio con lo que se manejan normalmente en períodos de zafra.

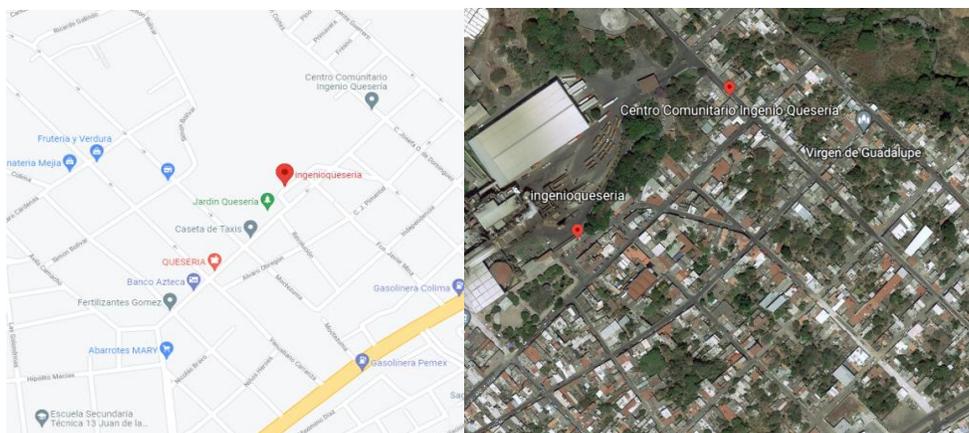


Figura 2: Obtención de fibras. Fuente: Google Maps.

Al momento de visitar el Ingenio para recolección de la fibra de bagazo de caña, se pudo observar que las instalaciones del almacenamiento de la fibra mientras se molían. En esta parte, la fibra se observó en un estado limpio, con poca humedad y resguardada (Figura 3).



Figura 3: Fibra de caña en almacenes.

Cabe recalcar que el proceso de visita a las instalaciones fue complicado, ya que en ese tiempo se cruzó con el periodo de contingencia sanitaria por el virus del Covid-19 y las medidas de control, seguridad y saneamiento fueron más estrictas. Este fue un factor determinante para planear la elaboración de los bloques, ya que sin las fibras la investigación permanecía estática. Sin embargo, se dio la oportunidad de conocer los

almacenes exteriores. En esta ocasión, las condiciones de la fibra fueron totalmente distintas, el color era café oscuro, totalmente opuesto al primero, parecía tierra, estaba bastante húmeda, con residuos de otros compuestos orgánicos (Figura 4).



Figura 4: Fibra de caña en almacenes exteriores.

De acuerdo con el personal, el almacén exterior tiene un área de 40 hectáreas aproximadamente. Al momento de recorrer el lugar daba la sensación de estar encima de montes de tierra por la enorme cantidad de bagazo que se tiene resguardado, formando montones con hasta 10 metros de alto (Figura 5).



Figura 5: Montones de bagazo.

Preparación Del Nopal

Consiste en la molienda de los nopales, para poder usarlos como recubrimiento y como mezcla en los adobes con fibra de bagazo de caña (Figura 6).



Figura 6: Preparación de nopal.

Una vez que se muele cuidadosamente nopal por nopal, tratando de usar la mínima cantidad de agua. Lo siguiente es separar la máxima cantidad de grumos con un colador de cocina. Después se agrega a los bloques, ya sea como recubrimiento exterior o mezclado con los otros materiales. Por último, se dejan secar por aproximadamente 28 días.

Proporción De Las Mezclas Para Los Bloques

La elaboración de los bloques de adobe y fibra de bagazo de caña para evaluar la resistencia mecánica a compresión se plantearon las proporciones mostradas en la Tabla 1, en las que un porcentaje del peso de la tierra utilizada para preparar un bloque (200 gramos) fue reemplazado por un peso equivalente de fibra de bagazo de caña de azúcar (Reyna Pari, 2016). Los porcentajes utilizados son del 1, 5, 7 y 10% del peso de tierra sustituido con fibra de bagazo de caña. Estos bloques tienen un área de 25 cm².

Tabla 1

Proporciones de mezcla

Mezcla	0%	1%		5%		7%		10%	
	Tierra	Tierra	Fibra	Tierra	Fibra	Tierra	Fibra	Tierra	Fibra
Total	200	198	2	190	10	186	14	180	20

Nota. La cantidad de agua fue de 150 gramos.

Para evaluar las propiedades termo físicas se plantearon las proporciones mostradas en la Tabla 2, el procedimiento es similar al de la Tabla 1 donde se sustituye un porcentaje del peso de la tierra utilizada para preparar un bloque (1800 gramos) con las proporciones del 5, 7 y 10% del peso de tierra en cubos de 10 centímetros de arista o de volumen equivalente a 1000 cm³.

Tabla 2*Proporciones de mezcla*

Mezcla	0%	5%		7%		10%	
	Tierra	Tierra	Fibra	Tierra	Fibra	Tierra	Fibra
Total	1800	1710	90	1674	126	1620	180

Nota. La cantidad de agua fue de 650 gramos.

Producción De Los Bloques Para Medir Resistencia Mecánica A Compresión Simple

Se elaboró un molde de madera de 50 cm de largo, 9 cm de ancho y con espacio para 7 cavidades cúbicas, en las que se colocaron las muestras utilizadas. Las cavidades cúbicas en las que se prepararon los bloques tienen 5 cm de arista (Figura 7). Adicionalmente, para facilitar el desmolde de los bloques, el molde de madera fue curado con aceite vegetal quemado, 24 horas antes del ingreso de las mezclas. Si bien el tamaño de los bloques utilizados no se ajusta a las recomendaciones de la norma, NMX-040-ONNCCE, que determina las dimensiones que debe tener un bloque de construcción (N. Mexicana, 2012). Se eligió este tamaño de acuerdo con las dimensiones máximas que puede introducir en el dispositivo experimental utilizado para ensayar los bloques.



Figura 7: Molde para bloques.

En la Figura 8 se puede apreciar algunas herramientas utilizadas para la elaboración de los bloques como cucharas de albañilería, recipientes de plástico para revolver, balanza digital para pesar proporciones y un pisón para compactar.



Figura 8: Herramientas para elaborar bloques. Fuente: Elaboración propia

Producción De Bloques De Control Y Los Experimentales

Se verificó que cada uno de los bloques de control utilizados tuvieran el peso similar, 200 gramos. Este peso fue usado como referencia para la preparación de los bloques experimentales.

El procedimiento para cada mezcla consistió en pesar las proporciones dentro de una bolsa de plástico y con ayuda de una báscula digital. Inicialmente se trabajó con una báscula Adir 1676 (Figura 8) y luego se usó una Rhino Barec-5 (Figura 18), ambas con precisión 0.1 gr.

Después, se vertieron los materiales en un recipiente de plástico con cucharas de albañilería. A continuación, se mezclan los ingredientes, agregando agua hasta obtener una mezcla homogénea. Se colocó una bolsa de plástico a lo largo de la base del molde de madera, con el fin de impedir filtraciones y agrietamientos al verter las mezclas en las cavidades cúbicas del molde de madera. Por último, la mezcla contenida en las cavidades del molde fue apisonada constantemente hasta formar los bloques, asegurando que llenara completamente cada cavidad y se dejaron secar a la luz solar (Figura 9).



Figura 9: Bloques de adobe para prueba mecánica simple.

Obtención De Los Bloques

Después de 10 horas de exposición a la luz solar, los bloques se desmoldan, se separan y se dejan secar a la sombra durante una semana. Se procuró que fueran expuestos a las mismas condiciones ambientales y de temperatura.

La prueba se llevó a cabo en un lapso de 24 horas, en el cual se observó la permeabilidad de los bloques de adobe para cada una de las 2 proporciones con fibra y con agregado de nopal como recubrimiento. Adicionalmente se dejaron 3 horas más los

últimos bloques que resistieron (los de adobe con fibra de bagazo de caña en 5 y 10% y nopal).

Las proporciones que se analizaron fueron: adobes (0% caña), 1, 5 y 10% de fibra de caña, similar a los de la prueba de compresión con los adobes de 5cm³.

Adicionalmente, se analizaron bloques en pruebas de compresión con 7% de fibra de bagazo de caña y con recubrimiento de nopal en inmersión al agua.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña

Se analizaron bloques con 7% de fibra de bagazo de caña (fbc) con la finalidad de reducir costos de fibra y observar si la resistencia a compresión simple cambia de acuerdo con el acomodo de las fibras (Figura 10) y tomando en cuenta como referencia los resultados anteriores de los esfuerzos y deformaciones de los bloques con proporciones de 5 y 10%.

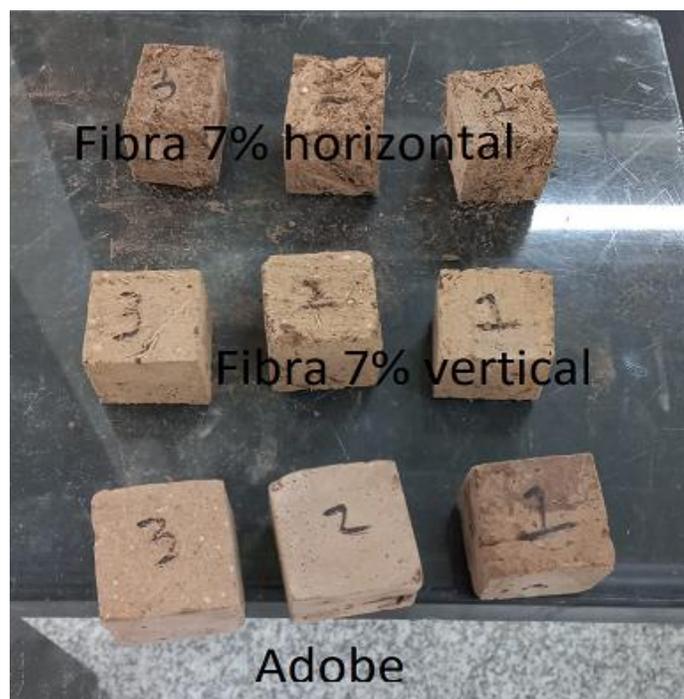


Figura 10: Bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña.

De la prueba de resistencia a compresión normal se tomaron los valores de la fuerza y deformación que soportó el bloque antes de la fractura. Después se registraron los datos para su análisis (Figura 11).

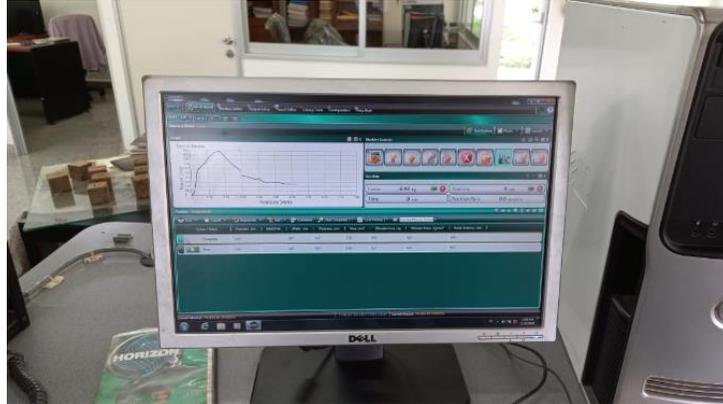


Figura 11: Análisis del esfuerzo normal y deformación en adobes con 7% de fibra de bagazo de caña.

Sitios De Análisis De Pruebas De Compresión

Las pruebas a compresión y deformación se realizaron en el Instituto Tecnológico de Colima, en el laboratorio de mecatrónica (Figura 12), con la máquina para esfuerzos y deformaciones Shimadzu UH-500KNI (SHIMADZU, 2015).



Figura 12: Máquina para medir esfuerzos Shimadzu UH-500KNI.

Para cumplir con las condiciones técnicas requeridas por el equipo, tanto en las pruebas de compresión como de deformación, se siguió la norma ASTM E8M, que indica que la prueba de compresión, que se realiza en un módulo de placa de diámetro de 120 mm, requiere que la geometría de los bloques sea cúbica o cilíndrica (A. A. Kardak et al., 2017).

También, se realizaron pruebas mecánicas en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Colima, con la máquina de ensayo universal Tinius Olsen (Olsen, 2022), la cual se puede apreciar en la Figura 13. Este análisis se llevó a cabo en una colaboración a cargo del Ing. Ramiro Licea Panduro y la institución.



Figura 13: Máquina universal para medir esfuerzos Tinius Olsen.

El esfuerzo normal aplicado por las máquinas puede describirse mediante la ecuación 3:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Que define el esfuerzo normal (σ) de los bloques como la fuerza aplicada (F) dividida entre el área transversal de la superficie de contacto (A), que en el caso de los bloques utilizados para estas pruebas fue de 25 cm². La deformación resultante de la compresión se tomó directamente de los valores estimados por las máquinas de ensayo universal.

Producción De Los Bloques Para Medir Parámetros Físicos De Los Bloques

Las pruebas térmicas se llevaron a cabo en la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima, la cual cuenta con un laboratorio de medio ambiente, en el que se tienen los equipos, máquinas y herramientas especializadas para llevar a cabo prácticas de laboratorio de altos estándares nacionales con normas vigentes. En este laboratorio fue posible llevar a cabo las pruebas térmicas con ayuda del KD2 Pro para la ejecución de las mediciones de los parámetros térmicos (Figura 14).



Figura 14: Aparato para medir propiedades termo físicas.

Los resultados de las pruebas se llevaron a cabo para proporciones de contenido de fibra de 5 y 10%, además de las probetas de adobe (Figura 15).



Figura 15: Probetas prueba térmica.

Los parámetros evaluados son: conductividad térmica, resistencia térmica, calor específico volumétrico y difusividad (Figura 16).



Figura 16: Medición propiedades térmicas.

Adicionalmente, se evaluaron las propiedades termo físicas en bloques de adobe, pero en mezclas con agregados de 7% de fibra de bagazo de caña y nopal (Figura 17).

Estas mezclas son:

1. Adobe
2. Adobe con 7% de fibra
3. Adobe con 7% de fibra y nopal como recubrimiento exterior
4. Adobe con 7% de fibra y nopal mezclado
5. Adobe y nopal como recubrimiento exterior

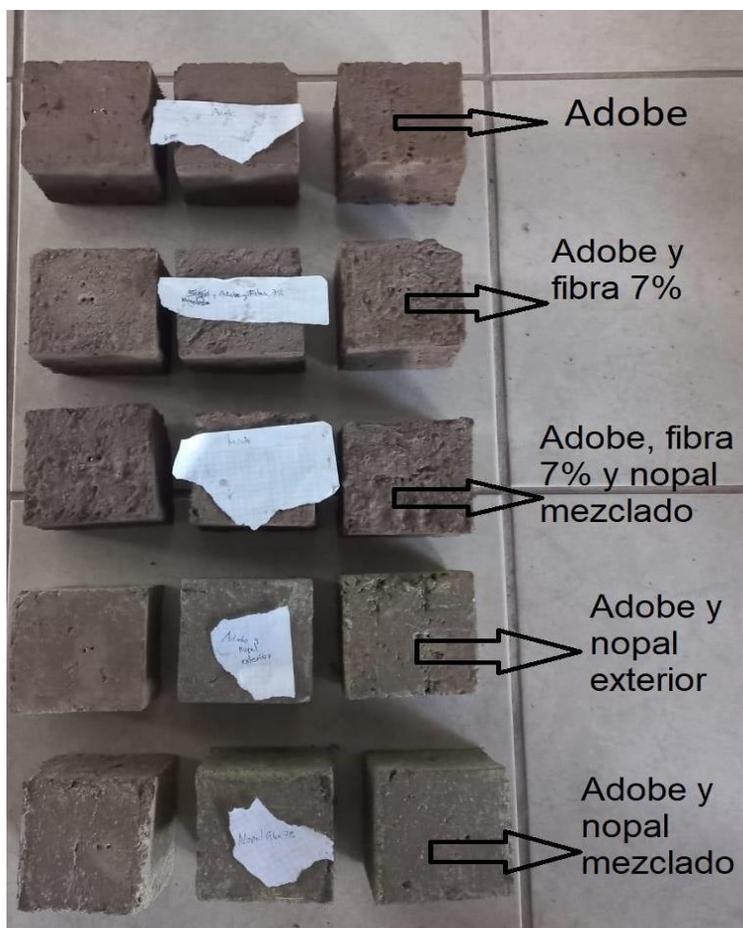


Figura 17: Segunda familia de bloques.

Método De Ensayo Para Las Pruebas Térmicas

El procedimiento consiste en preparar las probetas que se van a ensayar, de acuerdo con el manual cubos de 1000 cm³ son suficientes para ensayar los parámetros térmicos (Decagon Devices, 2016). La metodología consiste en agujerear las probetas con dos orificios paralelos de 6mm de separación, cada orificio de 1.3mm de diámetro para que el sensor pueda entrar y medir (Figura 18).



Figura 18: Probeta agujereada para medir propiedades termo físicas.

La densidad de las probetas varía de acuerdo con sus porcentajes de mezclas, mientras más grande es el porcentaje de fibra de bagazo de caña (fbc) menor es su densidad. Una probeta de puro adobe tiene una densidad de alrededor 1.8 gramos por centímetro cúbico, una con 5% de fbc 1.7 g/cm^3 y una con 10% fbc alrededor de 1.6 gr/cm^3 . Es decir, el peso de una probeta de adobe es de alrededor de 1800 gramos, el de una probeta con 5% de fbc 1700 gr y el de una probeta de 10% es de 1600 gramos.

Es importante asegurarse de que las probetas se encuentran secas por lo que se recomienda exponer al sol un par de horas antes de ensayarse (Figura 19).



Figura 19: Secado de probetas.

El sensor que se utilizó fue el sensor de aguja doble SH-1. Antes de introducir las agujas es necesario lubricarlas con pasta térmica para efectos de funcionalidad cuando el sensor comienza a calentar (Figura 20).



Figura 20: Lubricación de probetas.

Una vez que el sensor está lubricado con pasta térmica se procede a realizar las mediciones, es necesario calibrar el aparato y configurarlo al tiempo en que se desean tomar las lecturas y/o verificar si se desea hacerlo de forma manual (Figura 21).



Figura 21: KD2 Pro tomando lecturas térmicas.

El Kd2Pro es uno de los aparatos más usados para medir parámetros térmicos y de los competentes en el mercado con estándares de rendimiento validados por Norma ASTM D5334-08 y Norma IEEE 442-1981.

Los moldes para esta prueba se fabricaron de triplay de madera con las especificaciones del manual Decagon Devices Kd2Pro (Figura 9). De estos moldes se fabricaron 7 (Figura 22).



Figura 22: Moldes para pruebas térmicas.

Las etapas del proceso de medición son:

1. Tener elaboradas probetas de 1000 cm^3 . Es importante asegurarse de que cumplan estas medidas porque las especificaciones del manual explican que las caras deben ser un mínimo de 3 pulgadas cuadradas en su superficie cuando se usa el sensor de aguja doble SH-1.
2. Preparar las probetas con las especificaciones del sensor SH-1 que tiene 1.3 milímetros de diámetro en cada aguja, 3 centímetros de largo y 6 milímetros de espaciado entre las agujas. El intervalo que permite tomar lecturas de la conductividad es de 0.02 a 2 W/mK, de la resistencia térmica de 50 a 5000°C cm/W , de la difusividad de 0.1 a $1.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ y del calor específico volumétrico de 0.5 a $4 \text{ J/m}^3\text{K}$. El sensor SH-1 se eligió debido a que es el sensor que permite medir estos parámetros térmicos y con una precisión de 10% sobre los intervalos de lectura para cada uno.
3. Asegurarse que las probetas están completamente secas.

4. Lubricar el sensor con pasta térmica o vaselina
5. Calibrar el equipo de acuerdo con los tiempos que se desea tomar lecturas y ejecutar. Con el KD2Pro se puede elegir el tipo de lecturas que se quiere tomar, ya sea de forma predeterminada o de forma manual. En este caso se eligió la forma manual. El aparato lleva alrededor de 40 segundos en tomar cada lectura, pero se debe estar pendiente de ir cambiando manualmente al siguiente parámetro. Las lecturas que se tomaron son acerca de la conductividad térmica, resistencia térmica, calor específico volumétrico y la difusividad.

Caracterización De Los Materiales

En este subtema se utilizan diferentes términos que, si bien se explica su significado, también se pueden consultar en el apartado marco conceptual.

La tierra que se usó para la elaboración de los bloques está compuesta principalmente de arena, limos y arcillas en porcentajes aproximados de 30%, 60% y 10%, respectivamente, de acuerdo con el distribuidor de la ladrillera y los procesos de cribado. Este tipo de material suele ser de tipo limo-arcilloso, el cual presenta proporciones equilibradas de arena y arcilla permitiendo la fabricación de bloques resistentes y porosos (Rivera Torres, 2012).

Adicionalmente se llevó a cabo una clasificación granulométrica en el laboratorio de materiales de la Universidad de Colima de la Facultad de Ingeniería Civil. Se tomó una muestra representativa de la parte fina del suelo por método de cuarteo y se crió por medio de tamices para clasificarse (Figura 23).



Figura 23: Cribado de suelo.

El suelo es un material poroso que se compone de diferentes tamaños que se pueden dividir en gravas, arenas, arcillas y limos. De acuerdo con la humedad que pueda haber en los poros del suelo se definen los estados de consistencia del suelo. El valor de

la humedad que define el límite entre los diferentes estados son los límites de consistencia definidos por Atterberg, por ejemplo, un suelo seco que se le añade agua su comportamiento mecánico irá cambiando conforme su contenido de humedad (Braja M., 2008).

Los límites de consistencia son fundamentales para clasificar materiales con presencia de materiales finos como la arcilla y limos. El límite plástico es la barrera que se encuentra entre los estados semisólido y plástico, es un suelo que al agregar humedad se deforma sin agrietarse. El límite líquido es la frontera que abarca el estado plástico y el estado líquido, es un suelo bastante viscoso con presencia notable de humedad (Braja M., 2008)

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se le conoce como índice de plasticidad y es un valor importante para clasificar materiales con ayuda de la carta de plasticidad (Braja M., 2008).

El límite líquido es el contenido de humedad a partir del cual el suelo se comporta como un líquido viscoso. Se determina por el método de CasaGrande regulado por la norma mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018. Se realiza con material tamizado que ha pasado la malla No. 40 (0.4 mm), es decir son suelos finos, el procedimiento es el siguiente:

Procedimiento para determinar el límite líquido con la Copa de Casagrande

1. Se coloca una muestra húmeda sobre la cuchara de Casagrande.
2. Se realiza una hendidura longitudinal con la espátula normalizada, tratando de colocar todo el material de un solo paso y tratando de que el material quede uniforme.
3. La manivela deja caer la cuchara repetidas veces desde una altura de un centímetro, anotándose el número de golpes necesarios para que la ranura se cierre en una longitud de 12 milímetros.

Para esta práctica con la copa de Casagrande se suele repetir el procedimiento anterior con muestras de diferentes contenidos de humedad. El límite líquido es el contenido de humedad de la muestra cuando a los 25 golpes se ha cerrado la hendidura una longitud de 12 milímetros (Braja M., 2008).

Por otro lado, el límite plástico es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un sólido, avalado por la norma mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018. El procedimiento es el siguiente:

Procedimiento para determinar límite plástico

1. Con varias muestras de suelo (pueden ser las que se usaron en la prueba del límite líquido), se fabrican cilindros de 3 milímetros de diámetro hasta que se van secando y se van partiendo de forma longitudinal (figura 25).
2. Después se halla la humedad de los rollitos, metiéndose al horno para conocer el peso seco (figura 26).

Análisis granulométrico

En la Tabla 3 se observa los componentes de los porcentajes que pasan cada malla con un total de 600 gramos cribados.

Tabla 3

Muestra de suelo fino.

Malla	Abertura malla (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	%Pasa
4	6.35	0	0.00	0.00	100
10	4.75	16	2.67	2.67	97.33
20	2	72	12.00	14.67	85.33
40	0.85	63	10.50	25.17	74.83
60	0.42	258	43.00	68.17	31.83
100	0.25	152	25.33	93.50	6.50
200	0.15	26	4.33	97.83	2.17

charola	0.075	11	1.83	99.67	0.33
P. No.200	0.075	2	0.33	100.00	0.00
Total	0.075	600	100.00	100.00	0.00

De los resultados de este análisis por cribado se pueden obtener los coeficientes de uniformidad y de curvatura, los cuales son esenciales para clasificar materiales granulométricos. El coeficiente de uniformidad cu es un dato que evalúa que tan uniforme son las partículas de suelo que las componen. Su valor numérico se calcula de la siguiente forma:

$$cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

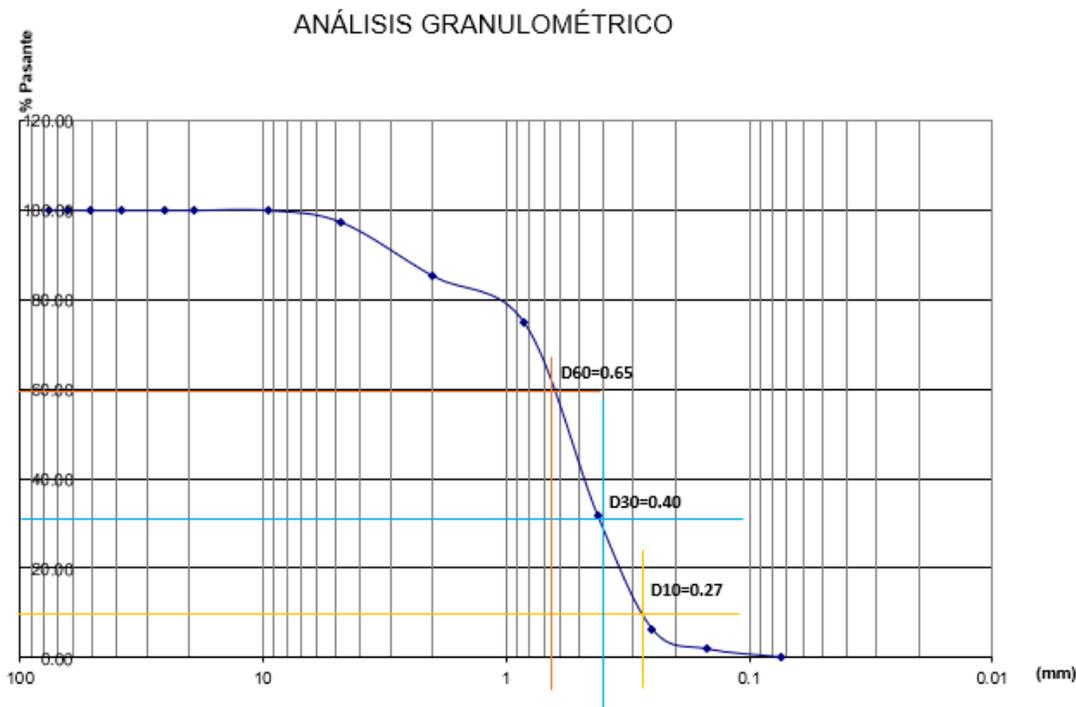
Donde D_{10} es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10 % en peso del suelo, equivale a un valor del diámetro en milímetros entre 31.83 y 6.5 en la tabla 3. D_{60} es el tamaño correspondiente al 60% en peso del suelo, equivale a un valor del diámetro en milímetros entre 74.83 y 31.83 en la tabla 3.

Por otro lado, el coeficiente de curvatura cc es la cantidad de agua mínima que contiene un suelo en el que no afecta el volumen al agregar o disminuir la cantidad de agua. También se puede calcular numéricamente con la siguiente expresión:

$$cc = \frac{D_{30} * D_{30}}{D_{60} * D_{10}} \quad (3)$$

Donde D_{30} es el tamaño tal, que el 30 % en peso, del suelo, sea igual o menor. En la tabla 2 equivale a un valor del diámetro en milímetros entre 31.83 y 6.5.

Otra forma de calcular estos coeficientes es mediante el método gráfico. Consiste en una gráfica semilogarítmica de los porcentajes que pasan en las ordenadas y con las aberturas de las mallas en las abscisas. Esta gráfica representa los resultados del tamaño de las partículas del suelo que conforman una muestra de tierra como los de la tabla 2. Se puede observar con línea amarilla el valor que representa el $D_{10}=0.27$, el $D_{30}= 0.40$ de color azul y el D_{60} aproximadamente a 0.65 de color naranja (gráfica 1).



Gráfica 1: Curva granulométrica.

Los parámetros para coeficiente de uniformidad en una arena son $C_u > 6$ bien graduado y coeficiente de contracción C_c entre 1 y 3 bien graduado (Braja M., 2008). El análisis gráfico fue $C_u = 2.57$ no cumple y $C_c = 0.87$ no cumple. Por lo tanto, se considera una arena mal graduada SP de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. También existe la manera de calcular los coeficientes de forma logarítmica mediante la ecuación (1):

$$D_x = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log \%_2 - \log \%_1} * \log \%_x - \log \%_1 \right] + D_1 \quad (4)$$

De la expresión anterior y tomando como valores los porcentajes que pasan el diámetro de las mallas del 60%, 30% y 10% y sus respectivas aberturas en milímetros se tiene que, por ejemplo, para calcular el D_{10} se encuentra entre el 31.83 y 6.5, sus respectivas

aberturas de mallas equivalen a 0.42 y 0.25 de la tabla 2. Lo siguiente expresión quedaría sustituida como sigue:

$$D_{10} = \left[\frac{0.25-0.42}{\log_{6.5}-\log_{31.83}} * \log_{10} - \log_{31.83} \right] + 0.42 = 0.2734$$

Y así sucesivamente para los otros diámetros:

$$D_{30} = \left[\frac{0.25-0.42}{\log_{6.5}-\log_{31.83}} * \log_{30} - \log_{31.83} \right] + 0.42 = 0.4077$$

$$D_{60} = \left[\frac{0.42-0.85}{\log_{31.83}-\log_{74.83}} * \log_{60} - \log_{74.83} \right] + 0.85 = 0.7017$$

Sustituyendo para obtener c_u en (2) y c_c en (3) se tiene que $c_u = 2.56$ $c_c = 0.87$ y no cumplen los parámetros para una arena bien graduada de acuerdo con el sistema SUCS (Braja M., 2008).

Como la mayor parte del material examinado es una arena se deben conocer los límites de consistencia para saber el contenido de humedad de la muestra de acuerdo con la norma ASTM D 2487. Por lo tanto, se calculó el límite líquido y el límite plástico. El límite líquido (LL) se refiere al contenido de humedad en la frontera entre los estados de consistencia plástico y semisólido, se calculó siguiendo el procedimiento por Casagrande (Figura 24) determinando el número de golpes (Braja M., 2008).



Figura 24: Determinación límite líquido.

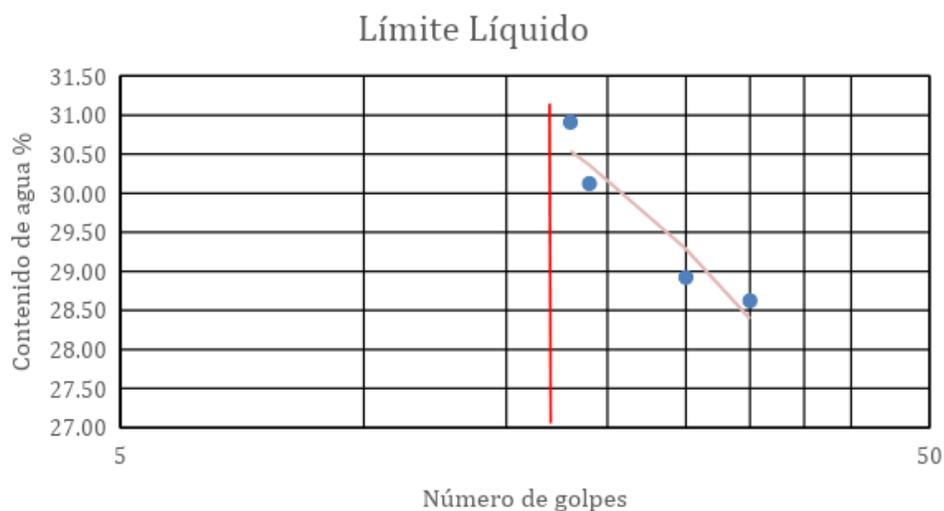
El número de golpes se registró en la Tabla que además se observa el contenido de agua de la muestra de tierra y el porcentaje de absorción (Tabla 4).

Tabla 4

Análisis del límite líquido con la Copa de Casagrande

No. Golpes	Peso tara	Peso muestra húmeda+tara	Peso tara+muestra seca	Peso del agua	Peso seco	Porcentaje de absorción (%G)
30	24.19	27.65	26.88	0.77	2.69	28.62
25	24.04	28.23	27.29	0.94	3.25	28.92
19	24.44	28.63	27.66	0.97	3.22	30.12
18	24.08	26.96	26.28	0.68	2.2	30.91

Posteriormente se elaboró la curva de fluidez con los datos del número de golpes en las abscisas en escala semilogarítmica y el contenido de humedad en el eje de las ordenadas en escala natural (gráfica 2).



Gráfica 2: Curva de fluidez.

De la curva de fluidez se observa con la línea roja el valor correspondiente al contenido de humedad a los 25 golpes. Sustituyendo en la ecuación de la curva de fluidez se tiene que:

$$y = -4.254 \ln(x) + 42.891$$

Donde $x = 25$ y el resultado es el contenido de humedad correspondiente al límite líquido con 29%.

El límite plástico (LP) se refiere al contenido de humedad que se midió conforme la formación de rollitos (Figura 25) de muestra representativa de la prueba anterior, hasta que se secaron sin fracturarse (Braja M., 2008).



Figura 25: Determinación Límite plástico.

Por último, se dejaron las muestras al horno 24 horas (Figura 26).



Figura 26: Secado al horno de muestra de suelo para LL y LP.

Los resultados del límite plástico se capturaron en la Tabla 5, la cual se observa los contenidos de humedad y el porcentaje de absorción de los rollitos.

Tabla 5

Análisis del límite plástico con los rollitos e índice de plasticidad.

Peso tara	Peso muestra húmeda+tara	Peso tara+muestra seca	Peso del agua	Peso seco	Porcentaje de absorción (%G)	LP	IP
11.5	12.71	12.53	0.18	1.03	17	47	-18
11.66	16	14.89	1.11	3.23	34		
12.4	14.55	13.54	1.01	1.14	89		

Posteriormente se calcula el índice de plasticidad (IP) ecuación (2), tal como se observa en la Tabla 4.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

El índice de plasticidad es la diferencia del límite líquido y el límite plástico, en mecánica de suelos es un indicador del contenido de humedad de un suelo (Badillo, 1974). De acuerdo con la carta de plasticidad el material se clasifica como limo inorgánico de compresibilidad baja ML (Braja M., 2008).

Caracterización de las fibras

Las fibras empleadas fueron seleccionadas por medio de observación directa, de color café amarilloso y tamaño no mayor a 3 cm de largo y se escogieron las que presentaran un grosor similar. Estas fibras son el resultado del desecho de la producción de azúcar (bagazo de caña), en el ingenio se procuró recuperar las de condiciones físicas similares y en mejor estado para su análisis.

Curado del bagazo

Las fibras de bagazo utilizadas se recolectaron del almacén del ingenio de Quesería, tal como se observa en la Figura 6, municipio colindante con el de Cuauhtémoc. Durante su transporte, se cuidó que las fibras no fueran expuestas a agentes externos y a la radiación solar para no dañarlas o alterar su composición. La preparación de la fibra comenzó con su lavado con agua, para disminuir azúcares o residuos adheridos. Así mismo, se siguió la recomendación de lavado previo de manos, utilizando jabón neutro, para minimizar la contaminación de las fibras con grasa y otros posibles agentes externos. Después del lavado de la fibra, esta se dejó secar, primero, por exposición a la luz solar durante 12 horas y por 12 horas a la sombra, minimizando el riesgo de que la fibra absorbiera la humedad ambiental durante las horas de noche. La fibra seca fue cortada con tijera, asegurando que las mezclas contuvieran sólo segmentos de 2.5 cm de longitud. Así mismo, se procuró mediante inspección visual que las fibras utilizadas en las mezclas tuvieran grosor y color similares.

Alcances Y Limitaciones

Esta investigación exploratoria pretende innovar en el uso de materiales naturales, típicos de la región del estado de Colima, para usarse en la construcción como formas sostenibles, seguras y que ayuden a mitigar la temperatura en el interior de estas.

Debido a las normas por contingencia Covid-19, las visitas al Ingenio eran largas, por los tiempos de planeación, revisión de medidas sanitarias y requerimientos por parte de las autoridades en las instalaciones. Estas visitas fueron con el propósito de recolectar material de desecho orgánico de la caña de azúcar (bagazo) para usarse como parte de la investigación en bloques de adobes.

Por otro lado, programar las fechas para ensayar los bloques en las instituciones de la Universidad de Colima tomaba tiempo para su planificación. Las gestiones administrativas, sumado al tiempo de recolección de los materiales, más los tiempos de preparación de las muestras y secado, fueron factores que delimitaron esta investigación.

Marco Normativo

Seguir normas y reglamentos es indispensable para cualquier tipo de investigación, para verificar que el proceso tiene credibilidad y respaldo. A continuación, se describen las normas empleadas en cada una de las pruebas, a compresión, absorción de agua y térmicas.

Prueba De Compresión

Se basó en la normatividad propuesta por la NMX- 4044 ONNCCE la cual establece las dimensiones mínimas requeridas para bloques de tipo estructura en ladrillo de tierra. También establece el procedimiento para ensayos de compresión en probetas (PDFCOFFEE, 2022).

Absorción De Agua

Se revisó la NMX-037-ONNCCE-2013 que especifica las características de las probetas para someterse a pruebas de absorción, el número de probetas y el procedimiento (PDFCOFFEE.COM, 2022)

Propiedades Físicas De Los Materiales

Se usó el equipo KD2Pro, el cual está reglamentado conforme la American Society for Testing and Material ASMT y está basado en la norma D5334-14 (ASTM, 2022) y la del Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE- 442 (IEEE SA, 2022). Las especificaciones de estas normas exigen una dimensión de la probeta mínima de 10 centímetros en la arista de los cubos. El sensor que se usó fue el SH1, aguja dual de 3 cm de longitud. Con este aparato se consiguió evaluar la conductividad térmica, la resistencia térmica, el calor específico volumétrico y la difusividad.

Estado Del Arte

En este apartado se encuentra la teoría relacionada con trabajos que se han elaborado y que aportan un contexto sobre la importancia que, al trabajar con materiales como el adobe, su historia y sus elementos.

Tierra Comprimida Y Adobes

La causa principal de las construcciones a base de tierra surge en el periodo Neolítico, por la necesidad de cubrir vivienda segura para el hábitat de vida sedentaria (Sánchez García, 1999).

Sin embargo, las edificaciones con tierra tienen las ventajas que son fáciles de armar, cuentan con material prácticamente en todos lados para su disponibilidad, su trabajo requiere gastos energéticos bajos y se pueden reciclar, lo más importante es su confort térmico, mantiene condiciones de humedad y ruido que favorecen la vivienda para los seres humanos (Vincent Rigassi, 1985).

En Reino Unido se encontró que la tierra puede dar solución a la problemática de vivienda, al mezclarse con cal y cemento como estabilizante y obteniendo ladrillos que reducen las emisiones de carbono al no estar cocidos, estos ladrillos tienen una densidad de 1800 kg/m^3 y son ideales para construcciones de acabado medio que no sean de tipo estructural (Oti et al., 2009).

En Europa se usó una técnica llamada “Cob”, que consiste en una mezcla de adobe mejorado con fibras para construir casas, la superficie de cubierta en losa podía llevar paja o madera (Watson & McCabe, 2011).

En Irán, se desarrollaron estructuras a base de tierra con la finalidad de proveer resguardo habitacional en zonas donde no se cuentan con materiales necesarios para usar elementos horizontales de refuerzo como los convencionales en la actualidad (Ravankhah et al., 2017).

En China, se tiene evidencia del proceso de construcción de la muralla, en su mayoría se usaron materiales predominantes en la zona donde los trabajadores tenían fácil acceso, siendo el método principal a base de tapiales y combinación de materiales con tierra (Salas Humanes, 2019).

En la mayor parte del territorio africano se usaron mezquitas como vivienda para resguardo con técnicas constructivas en base al adobe y tapial (Capilla, S. C., 2004), como en la mayoría de las construcciones a base de tierra la preocupación arquitectónica por mejorar las condiciones de vivienda ha dado paso a resultados prometedores para el futuro de los niños (Rueda Rivero, 2020).

En África, se encontró que la tierra puede ser estabilizada con ciertas proporciones de cal y cemento mejorando la resistencia y durabilidad para edificar viviendas (Ngowi, 1997).

Además, las pirámides representan un claro ejemplo de las obras de arte realizadas con tierra por antiguas civilizaciones como Egipto y América, cada una con técnicas similares y diseños arquitectónicos únicos (Sondereguer, 2005).

La tierra ha sido un material de construcción usado por las primeras civilizaciones antiguas alrededor de todo el mundo (Sanchis Mullor, 2011).

Por otro lado, en una investigación se encontró que la tierra comprimida estabilizada con cemento puede llegar a soportar resistencias a flexión en el rango de 2.5

kg/cm² lo cual para fines estructurales es conveniente (Jayasinghe & Mallawaarachchi, 2009).

Se encontró que los bloques de tierra estabilizada comprimida pueden llegar a ser igual o hasta más resistentes, durables y con buenos rendimientos energéticos comparados con los ladrillos convencionales cocidos, inclusive con la mejora de que cuidan el medio ambiente en emisiones de dióxido de carbono 10 veces más limpio (Mujahid et al., 2011).

También, los ladrillos de arcilla cocido reportan valores que comprenden los rangos de entre 5 Newton por milímetro cuadrado (N/mm²) hasta mayores de 70 N/mm² de resistencia a compresión y resistencia al agua de 4.5% con relación al peso del ladrillo (Deboucha & Hashim, 2011). Por otro lado, los muros de tapial no estabilizado pueden llegar a durar hasta 60 años en condiciones climáticas húmedas (Bui et al., 2009).

Los ladrillos de arcilla cocidos han sido usados por más de 5000 años, su fabricación genera considerables cantidades de contaminación al medio ambiente (Deboucha & Hashim, 2011).

Sin embargo, cabe recalcar que el adobe es uno de los materiales más antiguos que se han usado desde que se comenzó a edificar, principalmente por su facilidad de manejar, simplicidad y bajo costo económico-energético (Graham McHenry, 1984).

El adobe es un material de construcción natural que prácticamente no contamina y es amigable con el medio ambiente (Morel et al., 2001).

Se encontró que las propiedades del adobe permiten un ambiente térmico ideal que cuando se encuentran personas alojadas dentro, se forman condiciones térmicas de equilibrio donde ni se pierde calor, ni se gana frío y viceversa (Taylor & Luther, 2004).

El grado de compactación en adobes reforzados con fibra de poliéster, influye en los resultados mecánicos de las pruebas (Kumar et al., 2006).

Se descubrió que al agregar yeso y fosfoyeso al adobe en porcentajes diferentes de hasta 25%, es posible mejorar las propiedades como el esfuerzo de compresión en bloques experimentales (Degirmenci, 2008).

La construcción basada en bloques de adobes ha sido una técnica implementada por la humanidad, debido a que sus propiedades se adaptan a las necesidades de la población y a que es un material de bajo costo de producción, su elaboración es simple, requiere poca mano de obra, tiene propiedades que funcionan como aislante térmico, sus procesos de fabricación son simples y sobre todo destaca por su participación en el medio ambiente con bajas emisiones de CO₂ (Algara-Siller et al., 2012).

La influencia del adobe como elemento de construcción sigue estando presente (Guerrero Baca, 2018) sin embargo, ahora su atención está centrada en combatir las desventajas que presentan las construcciones de tierra (Muelle, 1978).

En México, la base de la pirámide de Teotihuacán está elaborada mediante técnicas constructivas de adobe y tierra (Barba Pingarrón & Córdova Frunz, 2015).

La resistencia a compresión de los adobes varía desde 5 hasta 50 kg/cm² y esto se debe a la variabilidad entre las partículas de las arenas, el tamaño de los agregados y los métodos de preparación ya que generalmente son elaborados a mano (Minke, 2005).

Para lograr una fuerza de compresión de 50 Kg/cm² en un ladrillo de adobe se compone de 12% de arcilla, 74% limo y 14% arena (Minke, 2005).

Una composición de 14% de arcilla, 22% limo, 62% arena y 2% grava presenta buenos rendimientos de resistencia a compresión en adobes, con maleabilidad por las arcillas, sin grietas por contracción gracias a su alto contenido de porosidad (Minke, 2005).

Generalmente los adobes son elaborados con moldes fabricados a partir de madera o metal, la cantidad de piezas que se fabrican al día varía dependiendo la técnica, herramientas y la mano de obra (Minke, 2005).

Se recomienda una mezcla de 15% gravas, 50% arena, 15% arcilla y 20% lodo para la elaboración de adobes resistentes y estables (Bahobail, 2012).

Además, al usar residuos de papel y celulosa en mezclas para fabricar adobes, la resistencia a compresión se incrementa al 200% (Muñoz et al., 2020).

Tierra Con Fibras

A continuación, se presenta una tabla con investigaciones acerca de materiales cementantes como el adobe y concreto reforzados con fibras naturales u otros estabilizantes como la cal y polímeros plásticos. De estos, destaca la fibra de bagazo de caña (Tabla 6)

Número	Autor y año	Título	Cementante	Estabilizador	Tipo de mejora
1	Ghavami, K. et al., 1999	Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres	Cemento y hormigón	Bambú, sisal y coco	Física y mecánica
2	Mesbah, Ali et al., 2004	Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers	Tierra compactada	Naturales	Ductilidad y resistencia a la tracción
3	Binici et. al 2005	Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material	Mezcla de adobe con ladrillo y piedra caliza	Desechos fibrosos	Esfuerzos de compresión
4	Roca et., Al 2006	Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. parte I: características físicas	Solo fibras	Bagazo de caña de azúcar	Propiedades físicas

5	Guettala et al., 2006	Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres	Cemento y tierra	Resina	Durabilidad, esfuerzo a compresión, resistencia al agua
6	Oti et al., 2008	Engineering properties of unfired clay masonry bricks	Cemento y ladrillos de adobe	Cal	Resistencia a compresión, durabilidad.
7	Yetgin et al., 2008).	The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes	Adobe	Trigo	Resistencia a compresión y tensión
8	Binici et al., 2009	Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls	Poliestireno con paja y plástico	Piedra pómez	Acústico y resistencia mecánica
9	Cortés, 2009	Propiedades mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del agave <i>Angustifolia Haw</i> , residuo proveniente de la producción del mezcal.	Adobe	Bagazo de agave	Resistencia a compresión y flexión
10	Gómez, 2009	Diseño, experimentación y evaluación del sistema constructivo sam (sistema de bloques fibrorreforzados con fibra del desecho del fruto del coco, para la construcción de vivienda)	Adobe	Coco	Carga horizontal, compresión, flexión, resistencia de impacto.
11	Galán et al., 2010	Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre	Adobe	Algas pardas y lana de oveja	Resistencia a compresión
12	Vilane, 2010	Assessment of stabilisation of adobes by confined compression tests	Adobe con cemento	Aserrín y estiércol de vaca	Resistencia a compresión
13	Quagliarini & Lenci, 2010	The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks	Adobe	Paja	Propiedades mecánicas
14	Aguilar, 2011	Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper	Ninguna	Fibra de bagazo de caña	Propiedades mecánicas y durabilidad
15	Muntohar, 2011	Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick	Adobe	Cal y ceniza de cáscara de arroz	Resistencia compresión, flexión y absorción de agua

16	Piattoni et al., 2011	Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks	Tierra compactada	Paja	Compresión y deformación
17	Chan, 2011	Effect of Natural Fibres Inclusion in Clay Bricks: Physico-Mechanical Properties	Adobes y ladrillos cocidos con cemento	Hojas de palma y piña	Física y mecánica
18	Piattoni et al., 2011	Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks	Tierra compactada	Banano	Resistencia a compresión y tensión
19	Vega et al., 2011	Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain	Adobes	Paja	Resistencia a compresión y flexión
20	Turanli & Saritas, 2011	Strengthening the structural behavior of adobe walls through the use of plaster reinforcement mesh	Adobe con yeso	Ceniza volante y paja	Resistencia a compresión y estabilizante
21	Aymerich et al., 2012).	Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material	Adobes	Lana	Propiedades mecánicas y ductilidad.
22	Lima et al., 2012	Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash	Cemento y tierra	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	Resistencia a compresión y absorción de agua
23	(Kadir & Maasom, 2013).	Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick	Adobe	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	Contracción lineal, absorción de agua, densidad aparente y resistencia a la tracción
24	Esteban et al., 2013	Bioconstrucciones, una alternativa a la ocupación y el desarrollo de comunidades rurales.	Adobe madera y piedra	Paja	Refuerzo muros aparentes, durabilidad
25	Tonnayopas, 2013	Green Building Bricks Made with Clays and Sugar Cane Bagasse Ash	Ladrillos de tierra cocida	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	Eficiencia energética y resistencia a compresión
26	Guettala et al., 2014	Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar	Cal, cemento y tierra comprimida	Resina	Propiedades mecánicas y absorción de agua

27	Smeu et al., 2014	Environmental Friendly Building Materials: Unfired Clay Bricks	Cemento y tierra	Aserrín	Resistencia a compresión
28	Millogo et al., 2014	Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers	Adobe	Hibiscus cannabinus	Confort térmico
29	Ashour et al., 2015	Equilibrium moisture content of earth bricks biocomposites stabilized with cement and gypsum	Tierra compactada	Cebada y paja de trigo	Absorción de agua y durabilidad
30	Danso et al., 2015	Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres	Adobe	Fibras naturales	Propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad
31	Sharma et al., 2015	Enhancing compressive strength of soil using natural fibers	Cemento y tierra	Hojas de árbol	Resistencia a compresión
32	Parisi et al., 2015	Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers	Adobes	Paja	Resistencia a compresión
33	Rojas & Aquino, 2016	Eco-ladrillos con base en residuos de construcción	Ladrillos de residuos de tierra	Madera y mucílago de nopal	Absorción de agua y Resistencia a compresión
34	Reyna, 2016	Reutilización de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo	Concreto	Bagazo de caña de azúcar, plástico pet y papel	Resistencia a compresión
35	Taallah et al., 2016	The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers	Tierra compactada	Palma datilera	Reducción de conductividad térmica, densidad aparente y aumento de absorción de agua
36	Sharma et al., 2016).	Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing	Adobe	Grewia Optiva y Pinus Roxburghii	Absorción de agua y durabilidad

37	Serrano et al., 2016	Use of by-products as additives in adobe bricks: mechanical properties characterization		Festuca, huesos de aceituna molida, maíz, paja, caucho y poliuretano	Resistencia a compresión y flexión
38	Bock-Hyeng et al., 2016	Mechanical Properties of Sustainable Adobe Bricks Stabilized With Recycled Sugarcane Fiber Waste	Adobe	Bagazo de caña de azúcar	Resistencia a compresión, durabilidad y estabilidad
39	Zak et al., 2016	The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials	Adobe	Cáñamo y lino	Resistencia a compresión y flexión
40	Torres Agüero, 2016	Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de ICA	Adobe	Maguey	Resistencia a compresión y flexión
41	Donkor & Obonyo, 2016	Compressed soil blocks: Influence of fibers on flexural properties and failure mechanism	Cemento y tierra compactada	Polipropileno	Resistencia a la flexión
42	Calatan et al., 2016	Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks	Adobe	Cáñamo y paja	Resistencia mecánica y conductividad térmica
43	Raut & Gomez, 2017	Development of thermally efficient fibre-based eco-friendly brick reusing locally available waste materials	Adobe	Cenizas volantes de aceite de palma y polvo de vidrio	Conductividad térmica y ecológico
44	Campos, 2018	Resistencia a compresión, flexión y absorción de bloques de adobe compactado, con adición de fibras de caña	Adobe	Caña	Resistencia a compresión, flexión y absorción de agua
45	Bellaca & Vega, 2019	Estudio comparativo de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm ² usando fibra natural de coco como material de construcción en la provincia de Rioja	Concreto	Coco	Resistencia a compresión
46	Morales et al., 2019	Studies of the mechanical properties of concrete reinforced with sugar cane bagasse fibers	Concreto	Bagazo de caña de azúcar	Resistencia a flexión y compresión

47	Meybodan et al., 2020	Sustainable lateral strengthening of traditional adobe walls using natural reinforcements	Adobe y mortero	Caña y paja	Resistencia sísmica
----	-----------------------	---	-----------------	-------------	---------------------

Recubrimientos Para Adobe

México es un país con diversidad climática, en el que por sus periodos frecuentes de lluvia intensa y alta vulnerabilidad sísmica es necesario contar con materiales constructivos que se adecuen a las características (resistencias y temperatura). En este sentido los bloques de adobe podrían ser implementados con la combinación de materiales frecuentes de la región para fortalecer estas debilidades propias del material (Granados-Sánchez & López-Ríos, 2002).

Agregar productos de plantas naturales como la baba de nopal ayuda a mejorar la estabilización contra la erosión al agua en elementos de adobe (Minke, 2005).

Las propiedades físicas del adobe favorecen un ambiente bio-térmico en su empleo sin embargo la vulnerabilidad ante la humedad es un factor que pone en riesgo la estructura, se cree que la fibra del bagazo de caña puede ayudar a retener el agua (Saraz et al., 2007).

La incorporación de fibras naturales junto con el nopal ayuda a mejorar las propiedades mecánicas y combaten efectos de la absorción de humedad en bloques elaborados con tierra (Ramírez, 2008).

Se descubrió que al agregar yeso y fosfoyeso al adobe en porcentajes diferentes de hasta 25%, es posible mejorar las propiedades higroscópicas en bloques experimentales (Degirmenci, 2008).

Los bloques de adobes son vulnerables a la erosión (causada por la acción del agua y el viento) y a los sismos. Con el paso del tiempo, se ha ido desplazando al adobe por materiales como el ladrillo y el cemento, que tienen mayor resistencia mecánica y que no tienen las debilidades ya mencionadas para el adobe, además que los conserva por

un largo tiempo sin recibir modificaciones de esfuerzos notables (Soledad Moscoso-Cordero, 2010).

Por otro lado, los mejores resultados en cuanto a compresión y flexión fueron aquellos con proporciones menores de 5% de ceniza de carbón como agregado a los bloques de adobe sin embargo aquellos con mayores proporciones obtuvieron bloques que se deformaron más y por lo tanto más frágiles en compresión. La cáscara de yuta ayuda a la mejora de agregado de agua, volviendo el material resistente a la vez (Villamizar et al., 2012).

También, se encontró que las fibras de la palma ayudan a la absorción del agua de bloques de adobe, en presencia de cantidades bajas de cemento (Taallah et al., 2014).

De manera similar, para mitigar los efectos de la vulnerabilidad ante el agua en construcciones de tierra, se usó una mezcla de materiales entre ellos fibra de trigo al 1% y cemento al 4% para mezclarse con yeso y los resultados fueron bastante positivos ya que se logró estabilizar las construcciones de la región propensa a inundaciones (Alam et al., 2015a).

También, la mezcla adecuada de materiales que garantizan un comportamiento ideal ante condiciones de lluvia en adobes y que también es económico es el de 4% de cemento y 1% de paja de trigo (Alam et al., 2015b).

Por otro lado, el nopal es una planta que se reproduce de manera sexual y asexual, se desarrolla en ambientes de climas hostiles, es resistente a altas temperaturas por lo que se considera fácil de conseguir en climas áridos y semiáridos (Torres-Ponce et al., 2015).

Para fines prácticos en esta investigación se refiere al mucílago de nopal como la baba que desprende al ser cortado, partido o triturado. Es la sustancia viscosa, de color traslucido a blanco, que presenta la propiedad aglutinante y se asemeja a una especie de resistol natural, similar al que tienen las pinturas o recubrimientos convencionales del

mercado actual, esta cualidad es la que interesa para fines de combatir los efectos de la humedad, la ascensión capilar y filtración del agua (Vargas-Rodríguez et al., 2016).

Los nopales a diferentes mezclas de curado se obtienen resultados que varían entre el 1 y 3% con respecto al porcentaje de humedad que retienen. De estas mezclas la mejor es la del nopal sin curar, logrando una absorción del 37%. Esto es un beneficio al momento de realizar experimentos puesto que el tiempo y costo es eficaz al no implicar procesos elaborados para su curado (Pinzón Orjuela & Benítez Urrego, 2018).

La mejor proporción de mezcla de nopal para combatir la absorción de agua es la que no requiere tratamiento previo en comparación con las otras mezclas de nopal (Pinzón Orjuela & Benítez Urrego, 2018).

Se encontró una combinación de materiales que favorece el crecimiento de material vegetal dentro de los bloques, ayudando a la conservación física de los elementos, pero la carga a compresión se ve desfavorecida (González Velandia et al., 2019).

Comúnmente a las construcciones de tierra se le agregan mezclas con cal para combatir las deficiencias estructurales ante los agentes de la erosión (Arabi & Wild, 1986).

Estudios recientes han demostrado que la cal ayuda a estabilizar las construcciones de tierra, el factor determinante es la cantidad de agua para cada tipo de suelo (Attoh-Okine, 1990).

Se somete la fibra en bloques de adobe expuesto a secado normal, sin embargo, cuando contenían altos índices de humedad no presentaron resultados significativos, las fibras no absorbieron cantidades considerables de agua (Ziegler et al., 1998).

Agregar yeso en adobe mejora las propiedades de absorción. La mejor combinación de resistencia del adobe ante presencia del agua fue la del yeso fosforado al 25% (Degirmenci, 2008a).

Se encontró que la proporción de bloques de adobe con cal y cascarilla de ceniza de huevo 1:1 en relación con el peso funcionan como estabilizadores naturales y ecológicos (Setyo A, 2011).

También, investigadores descubrieron que el nopal ayuda a estabilizar el concreto y no afecta las propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad (Durán Herrera et al., 2012).

Además, se usó la relación 1 a 3.5 de agua-nopal cocido para evaluar el cambio de volumen de concreto de alto rendimiento (De León Castillo, 2012).

Se encontró que la proporción de nopal crudo y molido en agua al 4.8% en relación con el peso en volumen de los componentes, podía ser usada para mezclarse con tierra y cemento con la finalidad de mejorar las condiciones de permeabilidad (Aranda Jiménez & Suárez Domínguez, 2014).

El mucílago de nopal cocido se puede usar en bloques a base de mortero de cal como base de pintura exterior para mejorar la fluidez, porosidad y evitar problemas de permeabilidad del agua. Se encontró que la mejor proporción para trabajar las pastas con nopal para recubrimientos fue la del 75% con relación al volumen de los agregados (Villalobos Ruiz, 2014).

Investigadores de la Universidad Autónoma de México (UNAM), desarrollaron una patente de bloques ecológicos a base de adobe y mucílago de nopal. Estos ladrillos además de contribuir a la conservación del medio ambiente al reducir los gases de dióxido de carbono y son de aporte en la rama constructora ya que pueden ayudar a mejorar las condiciones térmicas en una vivienda por las propiedades de los materiales, lo mejor de todo es que su precio es bastante accesible haciéndolo atractivo en el mercado (Rojas Valencia & Aquino Bolaños, 2015).

De acuerdo con (Schweigger, 2005) los muros exteriores usualmente son recubiertos con materiales con la finalidad de proteger y obtener un mejor acabado estético, en este sentido el mucílago de nopal se emplea para impermeabilizar los

bloques de adobe de esta investigación ante los efectos de la erosión, principalmente la acción del agua, que, en base con (Arroyo Vásquez, 2019) y a los autores (Pinzón Orjuela & Benítez Urrego, 2018) son de las principales desventajas de estos.

La fibra de bagazo de caña al 0.5% añadida a los adobes tiene capacidad de absorber cantidades de agua cercanas al 30% de acuerdo con el contenido de fibra, su absorción es directamente proporcional a la cantidad añadida (Cruzado, 2018).

En una investigación realizada con fines de conservación de alimentos, encontraron que cubrir los vegetales con la baba del nopal en diferentes tratamientos brinda una protección de la superficie con brillo, conservación y firmeza (Osorio Chuquitarco & Yáñez Ponce, 2018).

Además, al usar residuos de papel y celulosa en mezclas para fabricar adobes la resistencia al agua incrementa cerca del 12% con respecto a un adobe convencional (Muñoz et al., 2020).

La Savia de tuna con 14 días y 18 días de remojo alcanza una menor succión en el revestimiento porque disminuye la porosidad en el bloque, mientras más cemento interviene en el recubrimiento mayor es su absorción (Ureña Aguirre & Romero Yanzapanta, 2020).

Porcentajes altos de fibras de yute aumentan la absorción de agua capilar en los bloques (Araya-Letelier et al., 2021).

Propiedades Termo Físicas En Adobes

El coeficiente de expansión térmica para ladrillos de adobe ronda alrededor de 0.0062 milímetros por metro Vatio (mm/m.K) (Minke, 2005).

Las condiciones climáticas son el resultado de las actividades que demandan altos requerimientos energéticos, es responsabilidad de todos los sectores medir su impacto a través de políticas y acciones que garanticen el bienestar de los ecosistemas tal como la

industria de la construcción lo hace para la sustentabilidad de las especies (Doukas et al., 2006).

La piedra pómez reduce la conductividad térmica de los bloques de adobe. Los ladrillos de adobe con las fibras de plástico como refuerzo obtuvieron mayores resistencias que las naturales (Binici et al., 2007).

La conductividad térmica del adobe con paja es de 0.18 (W/m/k) (Acosta, Diaz, Zarazua, & Garcia, 2010).

La conductividad térmica depende de la porosidad, la composición de los minerales, la cantidad de agua y la cantidad de sales que contiene el material (García-Ten et al., 2010).

La ceniza es un aditivo que reduce la conductiva térmica y estabiliza los bloques de adobe (Bahobail, 2012).

Existe una variedad de materiales constructivos entre los que destacan características como la resistencia, la variación térmica y su conductividad, etc. Que combinadas forman un material mejorado, en el caso del adobe su viabilidad son las grandes dimensiones de los bloques, brindándole calidades de confort térmico en los interiores de la vivienda, puesto que los espesores, largos y altos permiten que la temperatura se mantenga con un confort térmico ideal en la vivienda (Guerrero Baca, 2014).

Por otro lado, se sabe que las fibras naturales tienen índices bajos de conductividad térmica lo que ayuda a mejorar el rendimiento en la combinación de materiales cementantes como la tierra (Benmansour et al., 2014).

Uno de los factores que atribuye a la reducción de la conductividad térmica es el uso de fibras naturales, al hacerlo la creación de poros aumenta y la energía se transmite con mayor lentitud a través del material (Al-Oqla & Sapuan, 2014).

Se estudió el comportamiento térmico de las arcillas en una localidad con la finalidad de conocer los valores energéticos, los resultados muestran que son excelentes conductores térmicos con valores entre 0.09 y 0.16 W/m °C (León et al., 2017).

También, hay una mejora del aislamiento térmico de las probetas realizadas con tierra sustituyendo partículas de harina de karité por cemento al 5%, existe una relación entre la porosidad y la densidad debido a la combinación de los materiales (Goure Doubi et al., 2017).

Marco Conceptual

Absorción: Es la capacidad que tienen los cuerpos de adquirir masa o llenar vacíos con agua (Bellaca & Vega, 2019).

Adobes: Se le llama al ladrillo sin cocer, una mezcla de grava, arena, limos, arcilla y agua en proporciones que varían dependiendo su uso y el lugar donde se obtienen (Carcedo Fernández, 2012).

Arenas: Son las partículas de tierra que sus diámetros comprenden los 0.06 y 2 mm (Braja M., 2008).

Arcilla: Son las partículas de tierra que sus diámetros son menores a los 0.002mm. Las características naturales actúan como material cementante en las mezclas de tierra y agua (Crespo Villalaz, 2004).

Bagazo de caña de azúcar: Es el residuo del proceso de azúcar, se le llama así al producto que resulta al extraer el jugo de la caña, generalmente se encuentra en estado seco, de color café y en tiras delgadas (Pernalet et al., 2008).

Calor específico volumétrico: Es la cantidad de energía que puede soportar un cuerpo para aumentar su temperatura interna (Morelli, 2021).

Condiciones de la tierra en la elaboración de los adobes: Es importante controlar adecuadamente el contenido de humedad, para evitar o disminuir las fisuras de secado. En general, debe utilizarse la menor cantidad de agua que logre activar la arcilla

existente, para alcanzar la máxima resistencia seca de los muros. De tal manera que la cantidad del agua requerida para moldear las unidades de adobe no debe pasar del 15% respecto al peso del contenido seco (E080, 2017).

Conductividad térmica: Es la capacidad de transferir energía a causa de la excitación de las partículas que tiene un cuerpo (Morelli, 2021).

Cladodio: Se refiere a la penca del nopal o los tallos (Guzmán Loayza & Chávez, 2007).

Curva granulométrica: Representa la gráfica que examina la clasificación de material en tamaños y generalmente se lleva a cabo en un laboratorio (Braja M., 2008).

Deformación: Es el cambio en la forma de un material que resulta de la aplicación de fuerza, y es medida por el cambio en su longitud. Puede ser de extensión o de compresión (OMEGA, 2020).

Densidad: Es la relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo (Bellaca & Vega, 2019).

Ductilidad: Es la propiedad que tienen los cuerpos para deformarse y regresar a su estado original sin perder sus propiedades mecánicas, como el acero (Hibbeler, 2011.)

Durabilidad: Es una característica física que tienen los materiales al mantenerse funcionales con el paso del tiempo y sin mantenimiento (Bellaca & Vega, 2019).

Dureza: Es una propiedad natural de los materiales, un material es más duro que otro cuando tiene la capacidad de romperlo, rayarlo o penetrarlo (Hibbeler, 2011).

Elasticidad: Es la capacidad que tienen los cuerpos de recuperar su estado inicial de deformación al someterse a cargas (Hibbeler, 2011.)

Fibra: Se le denomina al conjunto de hilos que conforman un cuerpo, con propiedades elásticas y flexibles. La mayoría tienden a tener buenas cantidades de absorción de agua (Quintanilla Alas, 2010).

Fibras convencionales: Son las fibras sintéticas como la de vidrio y carbón (Daniel et al., 2014).

Fibras Naturales: Son el conjunto de filamentos que se encuentran en las plantas y la naturaleza. Este tipo son las que más facilidad se encuentran ya que abundan considerablemente en las plantas, árboles y animales de la naturaleza (Daniel et al., 2014).

Fragilidad: Se dice que un material es frágil cuando es inevitable que se fracture rápidamente al someterlo a esfuerzos (Universidad de la Punta, 2020).

Granulometría: Es el proceso de repartición de los tamaños de granos que conforman a un conjunto de agregados; Esto se realiza por medio del análisis granulométrico la cual se fundamenta en la división de una muestra específica del agregado en proporciones equivalentes en cuanto a los tamaños de granos; el resultado de la medida total obtenida de cada fracción se conoce con el nombre de granulometría (Bellaca & Vega, 2019).

Grava: Son las partículas de tierra mayores a 2 mm de diámetro (Braja M., 2008).

La densidad absoluta o densidad normal: Es la relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo, por unidad de volumen (Legaz, 2010).

La densidad relativa o aparente: Es la relación que existe entre dos densidades, por lo que se expresa sin unidades (Hibbeler, 2011.)

Limos: Son las partículas de tierra que sus diámetros comprenden los 0.002 y 0.06mm (Braja M., 2008).

Límite líquido: Es el porcentaje de agua que contiene una muestra en relación con el peso seco del suelo (Braja M., 2008).

Límite plástico: Es la humedad mínima en la que se puede formar rollitos de forma cilíndrica sin que se fracturen (Braja M., 2008).

Maleabilidad: Se refiere a la capacidad de deformación de los materiales justo antes del fallo o fractura (Hibbeler, 2011.)

Módulo de Fineza: El módulo de fineza es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: 149 μ m(No.100), 297 μ m (No.50), 595 μ m (No.30), 1,19mm (No.16), 2,38mm (No.8), 4,76 mm (No.4), 9,51 mm (3/8"), 19mm (3/4"), 38,1 mm(1½") y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2 (Bellaca & Vega, 2019).

Peso específico: Es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y su volumen (Bellaca & Vega, 2019).

Peso unitario: Es el peso de un cuerpo por unidad de volumen (Bellaca & Vega, 2019).

Plasticidad: Es la capacidad que tienen los cuerpos para sufrir cantidades considerables de deformación sin regresar a su estado original (Hibbeler, 2011.)

Porosidad: Es una propiedad volumétrica de los suelos que se refiere al porcentaje de vacíos que contiene un material, se dice que un material es muy poroso cuando su contenido de vacíos es notable (González et al., 2014).

Propiedades mecánicas: Son las características que tienen los materiales de recibir y transmitir fuerzas externas (Hibbeler, 2011.)

Resistencia: Es la capacidad que tienen los cuerpos para soportar cargas sin llegar a la fractura (Bellaca & Vega, 2019).

Suelo: Es la capa superficial de la corteza terrestre producto de la erosión de las gravas (Crespo Villalaz, 2004).

Tenacidad: Se le llama a la capacidad de resistir deformaciones constantes por un tiempo prolongado antes de llegar al esfuerzo de falla (Hibbeler, 2011.)

Zafra: Se le llama así al periodo de corte de los cultivos de la caña de azúcar para su proceso de molienda en los ingenios para obtener azúcar u otros derivados para la industria como el alcohol. Generalmente el periodo va desde noviembre a marzo del próximo año (Romero Valencia, 2017).

Resultados Obtenidos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de acuerdo con las preguntas de investigación planteadas en un inicio, referentes a la interacción mecánica, de absorción de agua y de capacidad térmica en bloques de adobe con fibra de bagazo y agregado de nopal.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña

La Tabla 6 muestra los resultados de las pruebas de esfuerzo normal (en Kilogramos-fuerza) y deformación (en milímetros) ante compresión de los cubos de adobe de 5 cm elaborados. En esta se representan los valores obtenidos de las cuatro mezclas para cada probeta analizada.

Tabla 6

Resultados de las pruebas para cada tipo de mezcla

Fibra (gr)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo normal σ (kg/cm ²)	Deformación ϵ (mm)	σ promedio (kg/cm ²)	ϵ promedio (mm)
0	404.82	16.19	2.30	12.90	3.08
	336.50	13.46	4.30		
	285.52	11.42	2.50		
	212.10	8.48	3.20		
2	455.81	18.23	2.60	15.33	2.60
	361.99	14.48	2.20		
	346.70	13.87	3.20		
	368.11	14.72	2.40		
10	328.34	13.13	3.50	13.46	3.18

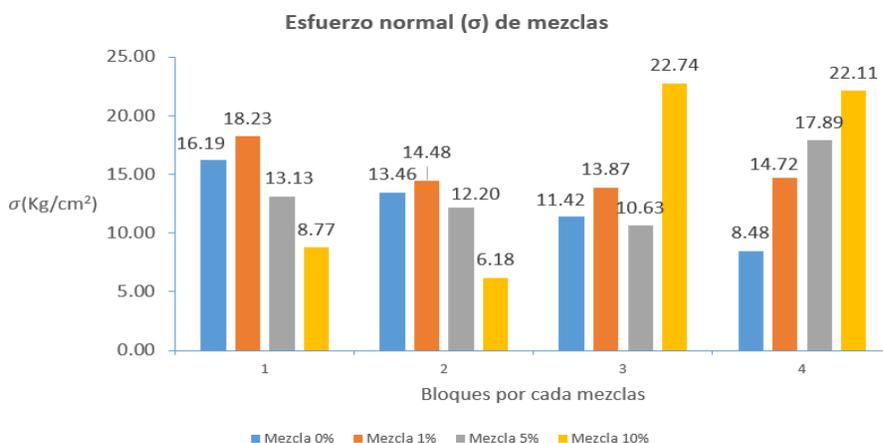
	304.89	12.20	3.30		
	265.63	10.63	3.20		
	447.14	17.89	2.70		
20	219.24	8.77	4.00	14.95	13.53
	154.59	6.18	5.20		
	568.48	22.74	21.90		
	552.68	22.11	23.00		

En la primera columna de la tabla 5 se representa el peso a sustituir en 200 gramos, que equivale al peso de un bloque testigo o sin fibra de bagazo de caña (fbc), es decir, los primeros cuatro valores que no contienen fibra de bagazo de caña son los bloques testigos. En el caso de los siguientes 4 bloques con 1% de fbc, significa que se mezclaron 2 gramos de fbc en 198 gramos de tierra para formar el adobe y así sucesivamente con los otros porcentajes de fbc.

Para estos 16 bloques se utilizó un aproximado de 150 gramos de agua para mezclar los agregados.

Por otro lado, en el caso de los bloques de control, el esfuerzo normal (σ) varió en un rango entre 8.48 y 16.19 Kg/cm², mientras que la deformación (ϵ) varió entre 2.3 y 3.2 mm. Los valores obtenidos para cada una de las repeticiones pueden observarse en las columnas 3 y 4 de la Tabla 6, mientras que su magnitud relativa se muestra en las Gráficas 3 y 4. Los valores obtenidos sirvieron de referencia comparativa contra los de los bloques experimentales. Los bloques experimentales o de adobe con 0% de fibra de bagazo de caña se muestran de color azul. Los bloques con 1% de fibra de bagazo de caña se muestran en color naranja. Los bloques con fibra de bagazo de caña con 5% se

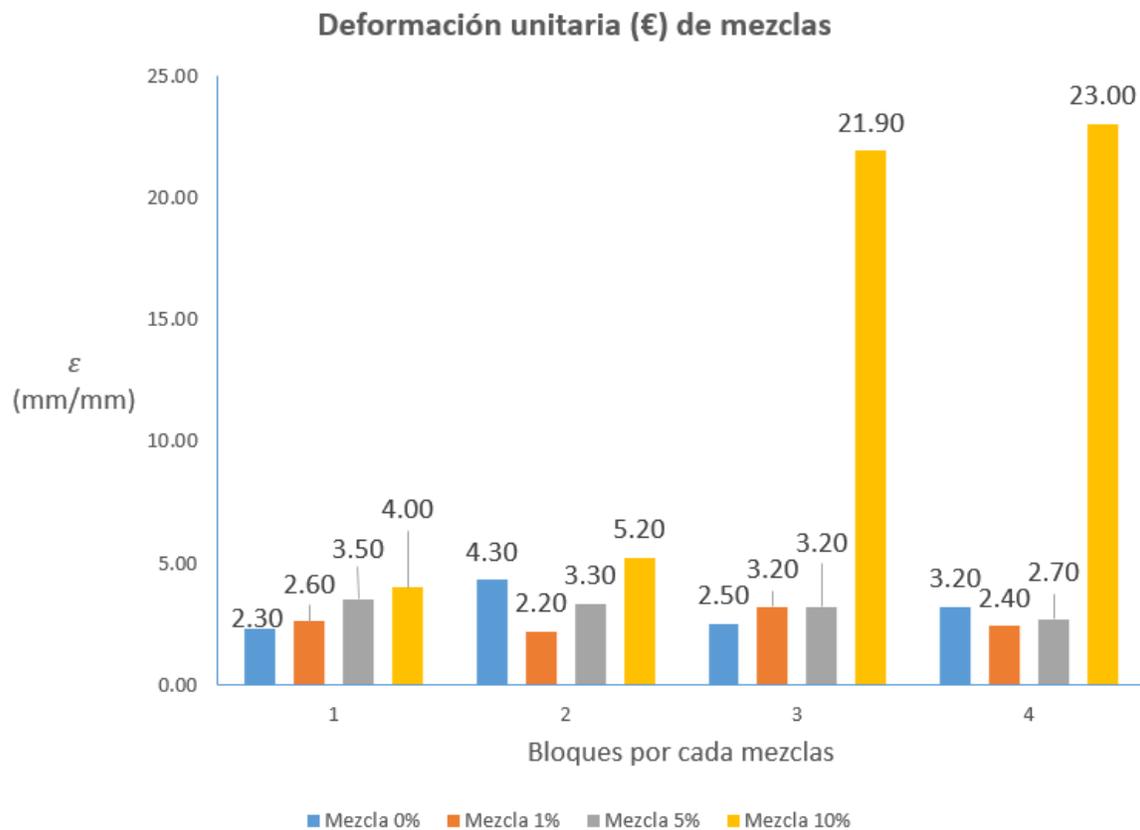
muestran de color gris. Los bloques con fibra de bagazo de caña con 10% se muestran de color amarillo (gráfica 3).



Gráfica 3: Esfuerzos normales para cada una de las cuatro iteraciones de la prueba de resistencia mecánica.

Como se puede observar en la Gráfica 3 los esfuerzos normales de las 4 diferentes mezclas que se analizaron y de los cuatro diferentes testigos, se puede comparar su variación respecto una con otra. Los números del 1 al 4 en las abscisas representan las 4 repeticiones que se hicieron para cada mezcla (Tabla 6). Así, por ejemplo, el bloque número 1 de la mezcla con cero porcentajes de agregado de fibra (bloques de control) obtuvo aproximadamente 16 Kg/cm², en contraparte con el bloque número 2 de la misma mezcla obtuvo aproximadamente 13.5 Kg/cm².

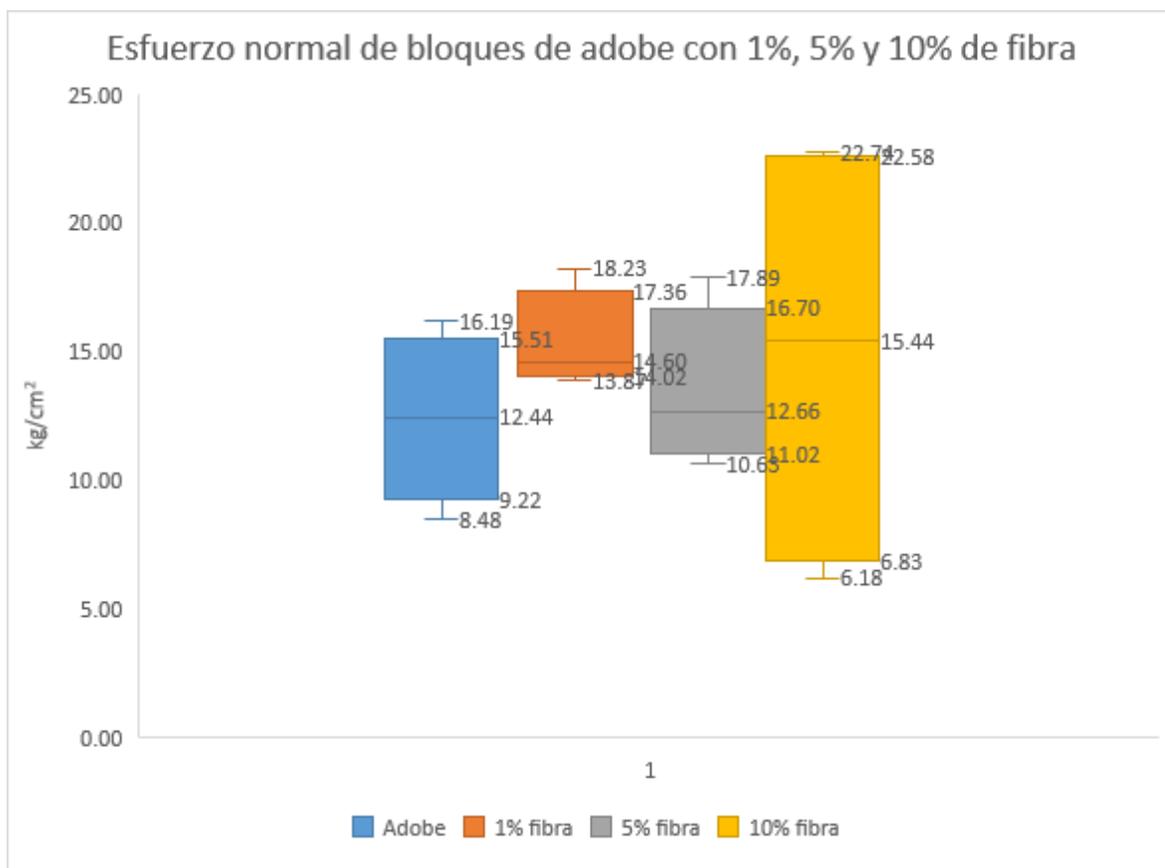
En cuanto a los tratamientos experimentales, el que tiene 10% de fibra agregada presenta la mayor variabilidad (entre 6 y 22 Kg/cm²), seguido por los tratamientos con 5%, y 1%. En términos de los valores promedio, mostrados en la Tabla 6, todos los tratamientos con fibra superaron al grupo de control.



Gráfica 4: Deformación de los bloques.

Mediante la Gráfica 4 se muestra la deformación de los bloques analizados para cada uno. Destacan las deformaciones de la mezcla con mayor porcentaje de fibra. De manera similar a la gráfica anterior esta segunda contrasta los valores, pero en este caso de la deformación de todos los bloques ensayados para cada tipo de mezcla.

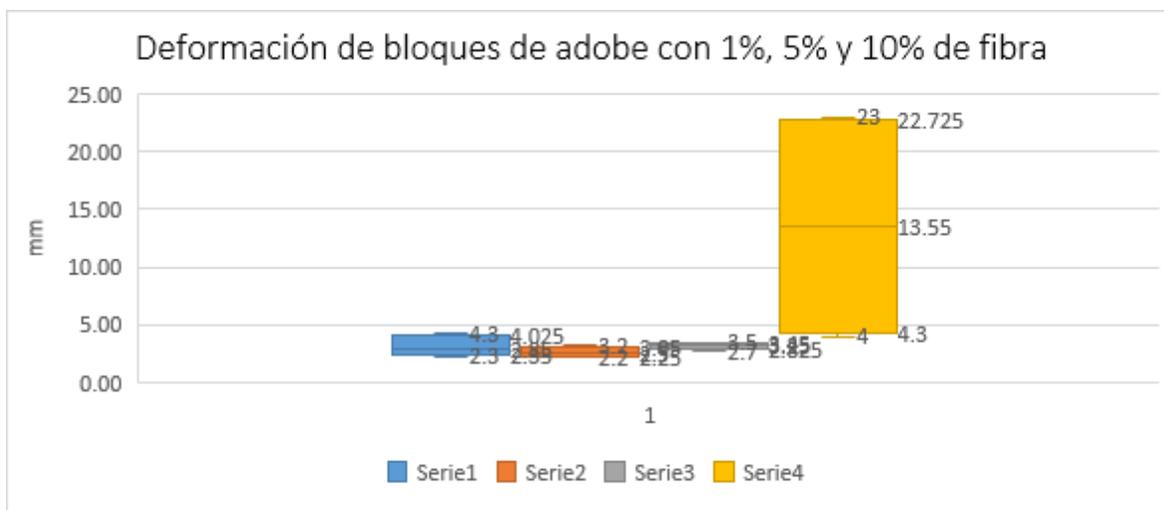
También se muestran gráficas de caja, en donde se aprecia la distribución de los esfuerzos (gráfica 5).



Gráfica 5: Caja esfuerzo normal.

La gráfica 5 muestra la variabilidad de los esfuerzos normales en kilogramos por centímetro cuadrado para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia, el valor mínimo del rango de datos, el bigote inferior que corresponde al 25% de probabilidad en ajuste o el primer cuartil, el valor promedio correspondiente al 50% de probabilidad de error o el segundo cuartil, el bigote superior correspondiente al 75% de probabilidad de ajuste de las probetas y el valor máximo del rango de datos de cada proporción de fibra.

En la siguiente gráfica se puede observar la relación de las fibras en las deformaciones (gráfica 6).



Gráfica 6: Caja de deformación.

La gráfica 6 muestra la variabilidad de las deformaciones en milímetros causadas por los esfuerzos normales para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia la influencia de las fibras de bagazo de caña cuando se le agrega 10% con relación al peso del material de tierra. Los bloques con 10 % de fibra de bagazo de caña son 4 veces más deformables que los bloques de adobe (testigos).

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 5% Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña Con 6 Meses Almacenados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis a compresión en bloques que se almacenaron durante 6 meses (Tabla 7), ensayados con la máquina de esfuerzos SHIMADZU del laboratorio de materiales del departamento de mecatrónica del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Colima.

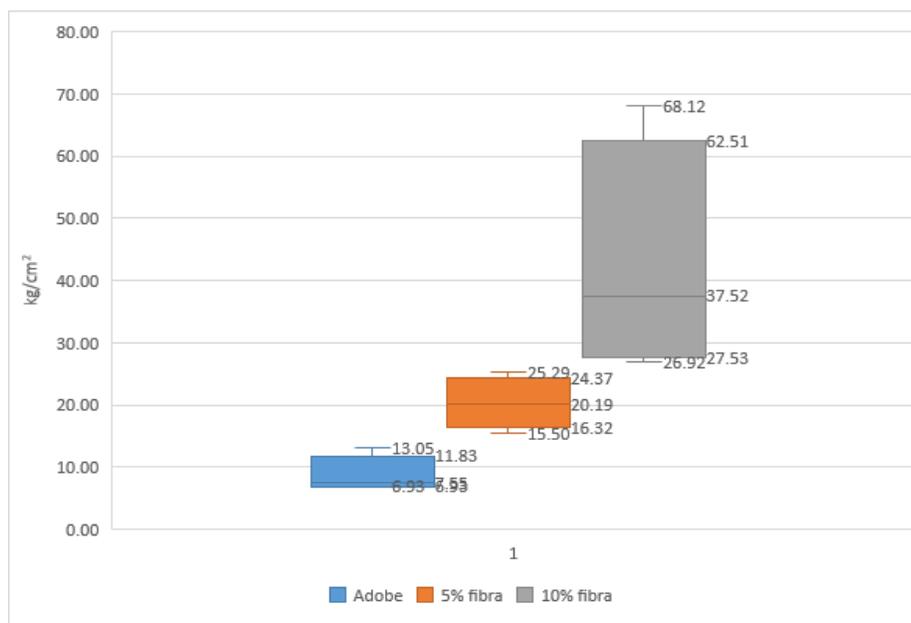
Tabla 7

Resultados de bloques almacenados 6 meses

Cantidad de fibra (gr)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo normal σ (kg/cm ²)	Deformación unitaria ϵ (mm)	σ promedio (kg/cm ²)	ϵ promedio (mm)
0	173.35	6.93	2.80	8.77	2.55

	326.30	13.05	2.60		
	203.94	8.16	1.90		
	173.35	6.93	2.90		
5	632.21	25.29	12.00	20.29	15.83
	469.06	18.76	19.90		
	540.44	21.62	19.10		
	387.49	15.50	12.30		
10	734.18	29.37	18.90	42.52	20.00
	673.00	26.92	13.00		
	1142.06	45.68	22.30		
	1702.90	68.12	25.80		

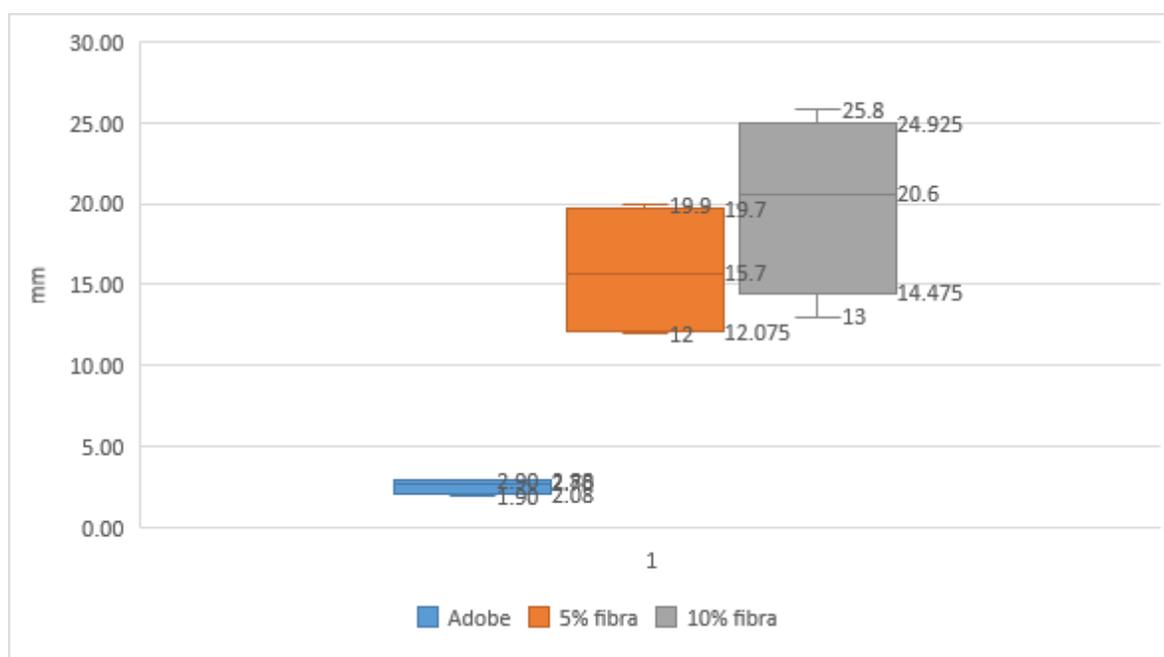
De la Tabla 8 se genera una gráfica con la cual se observan los valores de la resistencia a compresión de los bloques almacenados 6 meses en condiciones normales, es decir, temperatura y humedad ambiente y resguardados en un cuarto (gráfica 7).



Gráfica 7: Cajas de esfuerzo normal.

De la gráfica 7 se observa la variabilidad de los esfuerzos normales en kilogramos por centímetro cuadrado para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia, el valor mínimo del rango de datos, el bigote inferior que corresponde al 25% de probabilidad en ajuste o el primer cuartil, el valor promedio correspondiente al 50% de probabilidad de error o el segundo cuartil, el bigote superior correspondiente al 75% de probabilidad de ajuste de las probetas y el valor máximo del rango de datos de cada proporción de fibra.

Por otro lado, las deformaciones se pueden apreciar en la gráfica 8.

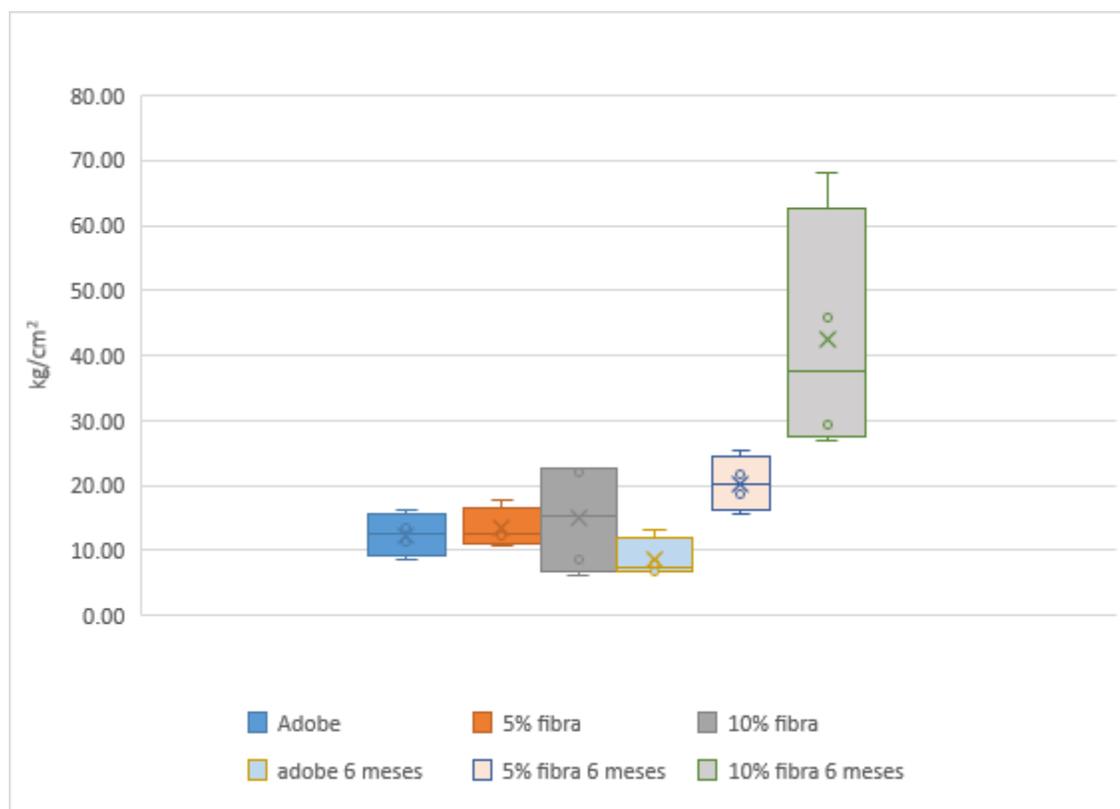


Gráfica 8: Deformación de bloques almacenados.

De la gráfica anterior se puede apreciar la variabilidad de las deformaciones en milímetros causadas por los esfuerzos normales para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia, el valor mínimo del rango de datos, el bigote inferior que corresponde al 25% de probabilidad en ajuste o el primer cuartil, el valor promedio correspondiente al 50% de probabilidad de error o el segundo cuartil, el bigote superior

correspondiente al 75% de probabilidad de ajuste de las probetas y el valor máximo del rango de datos de cada proporción de fibra (gráfica 8).

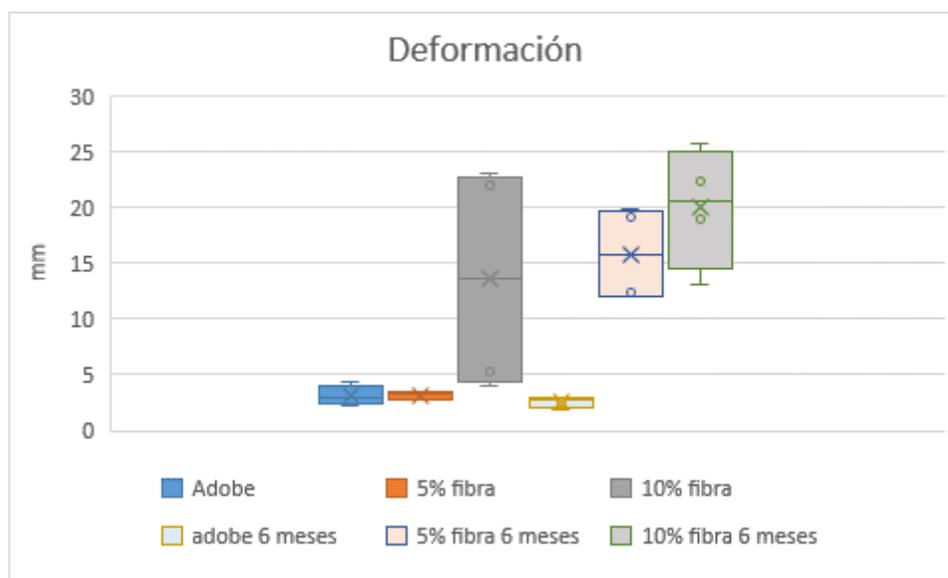
Adicionalmente, se construyó la gráfica 9 en la que se compara el esfuerzo normal de bloques de adobe con fibra de bagazo de caña en 5% y 10% (gráfica 5) contra los mismos bloques al transcurrir 6 meses (gráfica 7).



Gráfica 9: Variación de esfuerzos promedios de bloques de adobe con fibras al transcurrir 6 meses.

De la gráfica 9 se observa que los bloques no se ven afectados por estar en almacenamiento y que los esfuerzos normales se incrementaron considerablemente con el transcurso de los 6 meses. Los bloques testigos redujeron su resistencia a compresión alrededor de la mitad durante el tiempo de resguardo. Los bloques de 5 y 10% se beneficiaron de los 6 meses en almacenamiento.

Por último, se muestran las deformaciones que producen los esfuerzos normales de la gráfica 9. En esta gráfica se puede observar los efectos de agregar fibra de bagazo de caña en 5% y 10% al transcurrir 6 meses, ya que se producen deformaciones de casi 2 centímetros en el caso de la proporción de 5% de fibra de bagazo de caña (fbc) y de 2.6 centímetros para la proporción de 10% de fbc. Por otro lado, se puede observar que la proporción del 10% tiene resultados de deformación similar a cuando transcurran 6 meses con valor máximo de 2.3 centímetros (gráfica 10).



Gráfica 10: Variación de deformaciones promedio de bloques de adobe con fibras al transcurrir 6 meses.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña

Los resultados se plasmaron en la Tabla 8, que muestra los bloques para cada mezcla utilizada, así como las fuerzas en kilogramos, sus deformaciones en milímetros y sus esfuerzos y deformaciones promedios.

Tabla 8

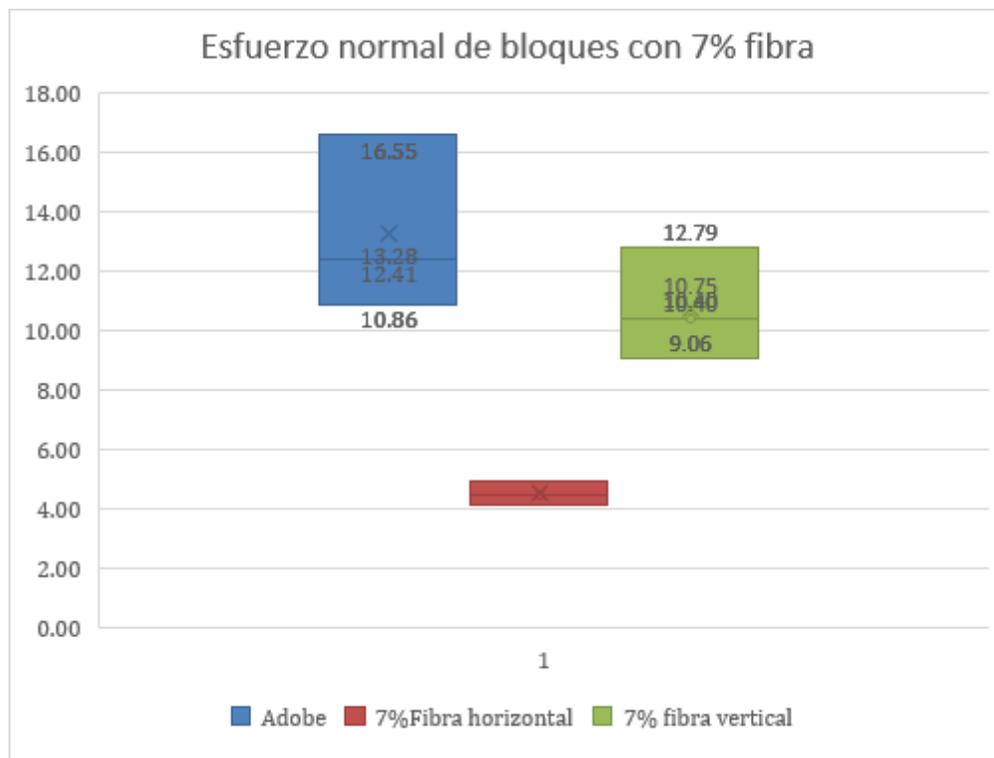
Compresión en bloques de adobe con 7% de agregado de fibra para probar su resistencia y la influencia de la geometría de las fibras.

Fibra (gr)	Fuerza (kg)	σ (Kg/cm ²)	ϵ (mm)	σ prom (Kg/cm ²)	ϵ prom(mm)
0	271.62	10.86	1.49	13.28	1.39
	310.35	12.41	1.62		
	413.75	16.55	1.06		
14	103.43	4.14	5.64	4.50	6.02
	111.33	4.45	6.36		
	122.96	4.92	6.06		
14	259.93	10.40	3.94	10.75	3.05
	226.57	9.06	2.23		
	319.69	12.79	2.98		

La tabla anterior se observa en la primera columna la cantidad de fibra sustituida en un bloque de adobe de 200 gramos. Primeramente, se elaboraron bloques de puro adobe (0% de fibra) que representan los primeros 3 valores de las fuerzas a compresión con 271.62, 310.35 y 413.75 kilogramos. Después se observa la mezcla con 7% de fibra (14 gramos) con geometría en tendencia horizontal con fuerzas de 103.43, 111.33 y 122.96 kilogramos. Los últimos 3 valores, representan las fuerzas de compresión de la mezcla con 7% de fibra (14 gramos) con geometría en tendencia vertical.

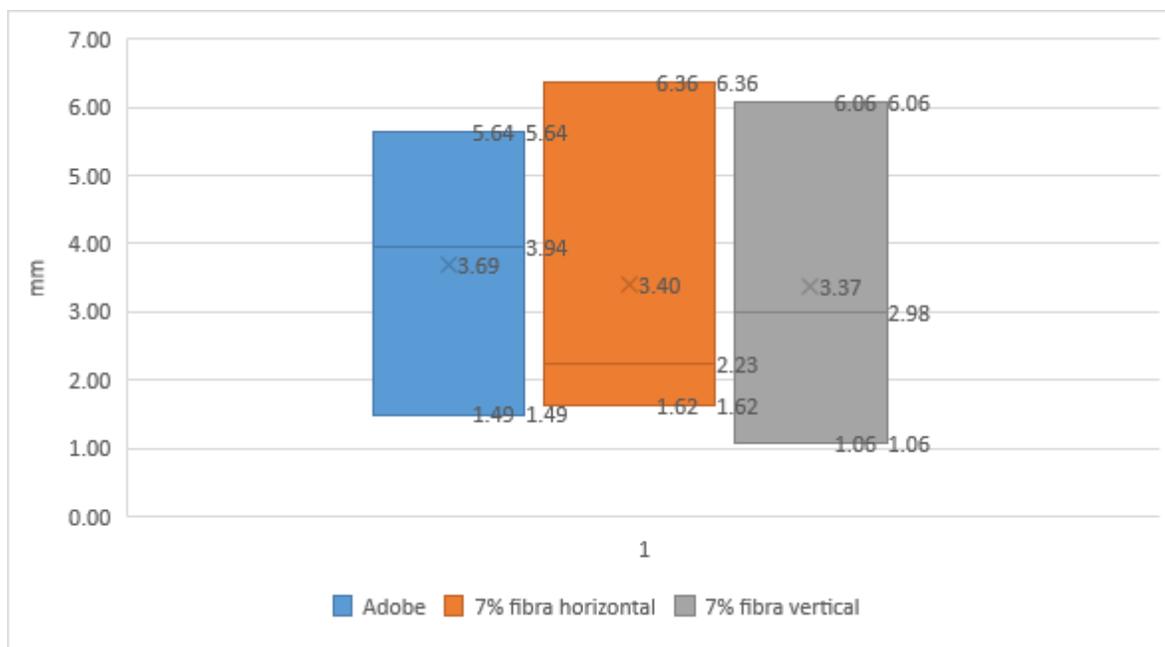
En la gráfica de cajas se observa la variabilidad de los esfuerzos normales en kilogramos por centímetro cuadrado para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia, el valor mínimo del rango de datos, el bigote inferior que corresponde al 25% de probabilidad en ajuste o el primer cuartil, el valor promedio correspondiente al 50% de probabilidad de error o el segundo cuartil, el bigote superior correspondiente al 75% de

probabilidad de ajuste de las probetas y el valor máximo del rango de datos de cada proporción de fibra (gráfica 11).



Gráfica 11: Esfuerzo normal de bloques con 7% de fibra.

A su vez, se puede apreciar la variabilidad de las deformaciones en milímetros causadas por los esfuerzos normales para cada tipo de proporción de fibra. Además, se aprecia, el valor mínimo del rango de datos, el bigote inferior que corresponde al 25% de probabilidad en ajuste o el primer cuartil, el valor promedio correspondiente al 50% de probabilidad de error o el segundo cuartil, el bigote superior correspondiente al 75% de probabilidad de ajuste de las probetas y el valor máximo del rango de datos de cada proporción de fibra (gráfica 12).



Gráfica 12: Deformación de bloques con 7% de fibra.

Así pues, el esfuerzo normal de un bloque de adobe es 12.39 kg/cm^2 y una deformación 3.08 mm , el esfuerzo normal de un bloque de adobe con 5% de fbc es de 13.46 kg/cm^2 y tiene una deformación de 3.18 mm , el esfuerzo normal de un bloque de adobe con 10% de fibra es de 14.95 kg/cm^2 y una de formación de 13.53 mm (Tabla 8).

Mientras que el esfuerzo normal de un bloque de adobe es de 13.28 kg/cm^2 y tiene una deformación de 1.39 mm , el esfuerzo normal de un adobe con 7% de fibra con tendencia horizontal de 4.50 kg/cm^2 y una deformación de 6.02 mm , el esfuerzo normal de un adobe con 7% de fibra con tendencia vertical es de 10.75 kg/cm^2 y una deformación de 3.05 mm (Tabla 8).

De lo anterior, se construyó una tabla en la que se analizan estos valores de esfuerzos y deformaciones de las proporciones de 5, 7 y 10%. Con la condición de que se tienen que analizar por separado, los de 5 y 10% con sus respectivos valores para los bloques de adobe (0% fibra) contra los de 7% de forma similar (Tabla 9).

Tabla 9

Esfuerzos normales y deformaciones de bloques de adobe con 5, 7 y 10% de fibra

Cantidad fibra (gr)	σ (Kg/cm ²)	ϵ (mm)
0	12.39	3.08
5	13.46	3.18
10	14.95	13.53
0	13.28	1.39
7 horizontal	4.5	6.02
7 vertical	10.75	3.05

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento

También se analizó la influencia del nopal con 7% de fibra de bagazo de caña en bloques de adobe y del agua, los resultados se plasmaron en la Tabla 10.

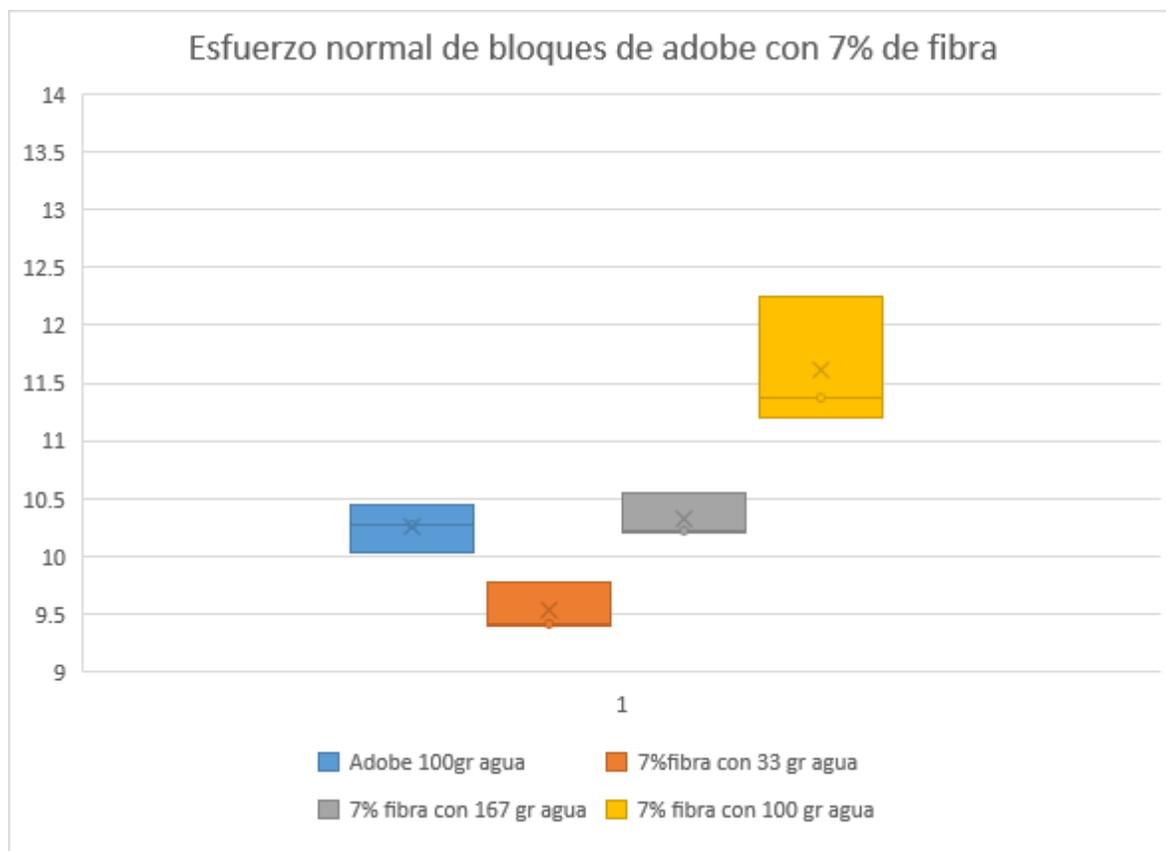
Tabla 10

Compresión de bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña y nopal

Mezcla	Fibra (gr)	Agua (gr)	Esfuerzo normal σ (Kg/cm ²)	Deformación ϵ (mm)	Esfuerzo promedio σ (Kg/cm ²)	Deformación promedio ϵ (mm)
Adobe	0	100	10.45	5.2	10.25	5.30
			10.28	5.1		
			10.03	5.6		
Adobe y fibra	14	33	9.4	9.6	9.53	12.97
			9.78	17.5		
			9.42	11.8		
Adobe y fibra	14	167	10.55	22.1	10.39	22.13
			10.22	22.2		

			10.4	22.1		
Adobe y fibra	14	100	11.38	17.8	11.61	19.83
			11.21	20.7		
			12.25	21		
Adobe, fibra y nopal como recubrimiento	14	167	10.28	20.8	10.98	16.57
			11.76	15.8		
			10.9	13.1		
Adobe y nopal como recubrimiento	0	100	12.76	1.2	13.43	1.83
			13.66	2		
			13.88	2.3		

En la gráfica 13 se puede observar la variación de la resistencia mecánica de los bloques de adobe con 7% de agregado de fibra de bagazo de caña (fbc). Estos valores son los que tiene cada bloque de adobe con fbc de acuerdo con su contenido de agua en gramos (tabla 10).

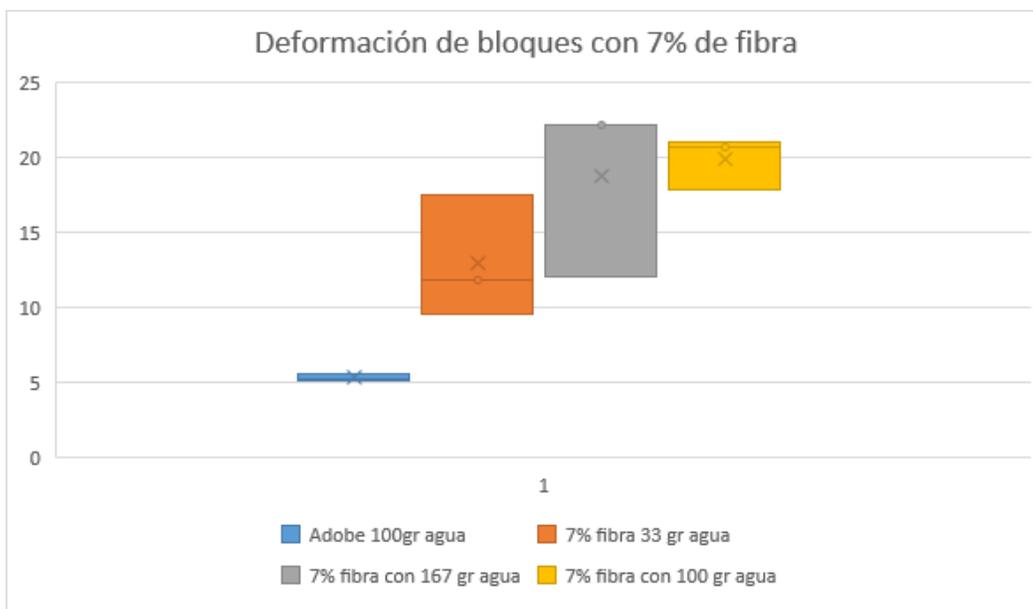


Gráfica 13: Esfuerzo normal de bloques de adobe con 7% de fibra.

Las deformaciones promedio de cada mezcla se observan en la gráfica 14. De igual manera, estos valores contemplan las variaciones de agua para cada mezcla tal como se aprecia en la leyenda de colores de la parte inferior de la gráfica.

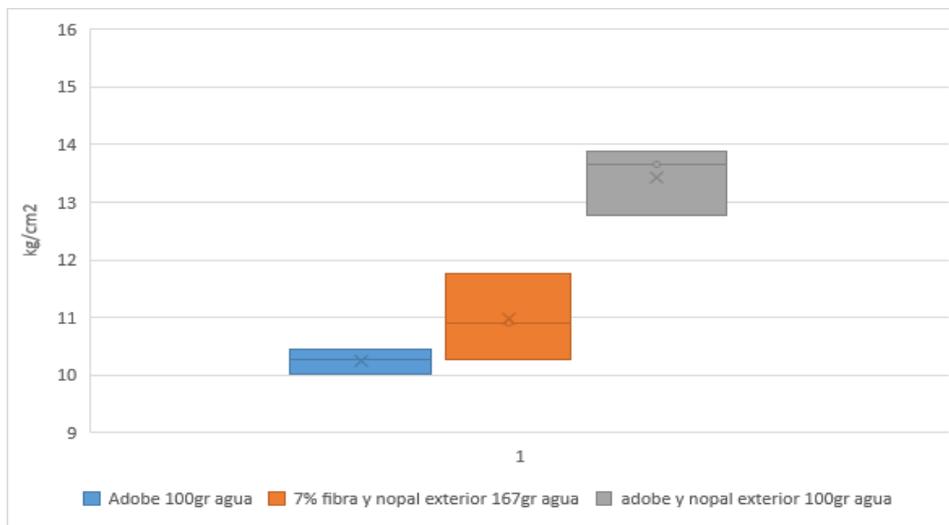
Los bloques con 33 gramos de agua se deforman considerablemente con 1.75 centímetros, a pesar de que su resistencia fue ligeramente más baja que las de 7% fibra con 167 gr agua y 7% fibra con 100 gr agua (gráfica 14).

Por otro lado, los bloques con mayor deformación son los que tienen 167 y 100 gramos de agua con 2.2 y 2.1 centímetros respectivamente (gráfica 14).



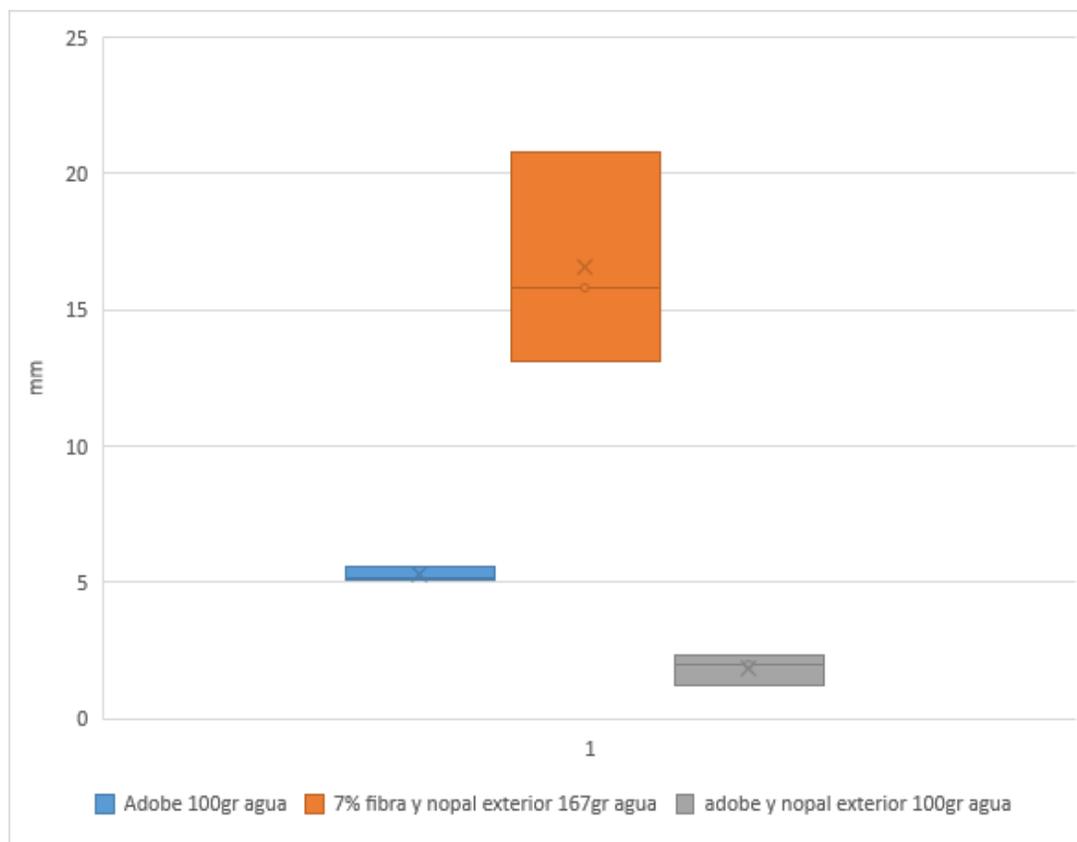
Gráfica 14: Deformación de bloques de adobe con 7% de fibra.

También se puede observar el esfuerzo normal del nopal como recubrimiento exterior y la fibra de bagazo de caña en los bloques de adobe al agregar 167 y 100 gramos de agua. En contraparte al análisis anterior, el comportamiento de los bloques con 167 gramos son los que tienen menor resistencia con 11.76 kg/cm^2 . Mientras que los bloques de adobe con 100 gramos de agua y recubrimiento de nopal son los más resistentes, con un valor máximo de 13.88 kg/cm^2 (gráfica 15).



Gráfica 15: Esfuerzo normal de bloques de adobe con fibra y nopal.

Las respectivas deformaciones de los bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña y nopal como recubrimiento se muestran en la gráfica 16. Se puede observar que los bloques con 167 gramos de agua son más deformables que los de 100 gramos de agua con un valor de 2.8 y 0.23 centímetros respectivamente. Este comportamiento es similar a los bloques anteriores de la gráfica 14.



Gráfica 16: Deformación de bloques de adobe con fibra y nopal.

Prueba De Absorción De Agua

Bloques De Adobe Con 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña

La Figura 27 muestra los bloques sin agregado de nopal en proporciones de 0, 5 y 10% de fibra de caña. Los bloques de puro adobe se destruyeron al minuto 10 de iniciar la prueba, mientras que los del 5% comenzaban a desprender partículas de tierra. Por su parte, los bloques con 10% de fibra no se vieron tan afectados como los del 5%.

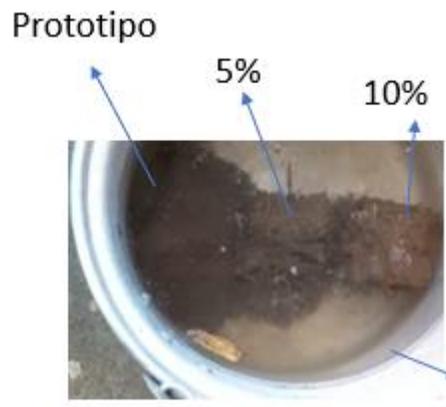


Figura 27: Absorción sin nopal min 10.

Al transcurrir 3.5 horas bajo el agua, todos los bloques estaban destruidos (Figura 28).



Figura 28: Absorción sin nopal 3.5 horas.

En la Figura 29 se observa el comportamiento de las probetas de 1% de agregado de fibra de caña con recubrimiento de nopal transcurrida 1 hora inmersos en agua.



Figura 29: Absorción con nopal 1 hora bloques 1% fibra.

Por otro lado, la absorción de las probetas con 1% de fibra y recubrimiento de nopal se dio hasta transcurridas las 3.5 horas, en donde el material cedió y se destruyeron las probetas (Figura 30). Incluso se puede apreciar en la superficie los residuos del mucílago de nopal aplicado como recubrimiento, en un intento por disolverse con el agua.



Figura 30: Absorción con nopal 3.5 horas bloques 1% fibra.

Por último, los bloques con 10% de fibra de caña y nopal fueron los que resistieron más tiempo en comparación con los otros, (Figura 31).



Figura 31: Absorción con nopal 1 hora.

Como se observa en la Figura anterior, dos de los bloques con 5% de caña parecieron verse afectados, pero en otros dos su consistencia fue tan sólida como los del 10%.

Además, los bloques con 10% de caña y agregado de nopal fueron los que resistieron más de 24 horas bajo el agua (Figura 32).



Figura 32: Absorción 27 hrs.

A pesar de que dos de los bloques de 5% se destruyeron al cabo de 1 hora se mantuvieron condiciones similares un día después.

Los bloques con 5 y 10% de fibra y agregado de nopal no les afectó el contacto con el agua, incluso su consistencia fue estable al finalizar (Figura 33).



Figura 33: Probetas de 5 y 10% al finalizar prueba absorción.

Adicionalmente, los bloques con fibra de bagazo de caña en 5% y 10% perdieron alrededor de 20 gramos su peso, es decir, pesaron 170 y 180 gramos respectivamente. Sin embargo, su capacidad de absorción fue similar.

Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña Y Nopal

Se analizó el efecto de la permeabilidad de bloques de adobe con 7% de fibra de bagazo de caña (fbc) y bloques de fbc con nopal, al someter bajo el agua los bloques y dejándolos 24 horas inmersos (Figura 34). La finalidad es comparar la absorción de este tipo de bloques contra los bloques de adobe convencional sin ningún tipo de agregado.

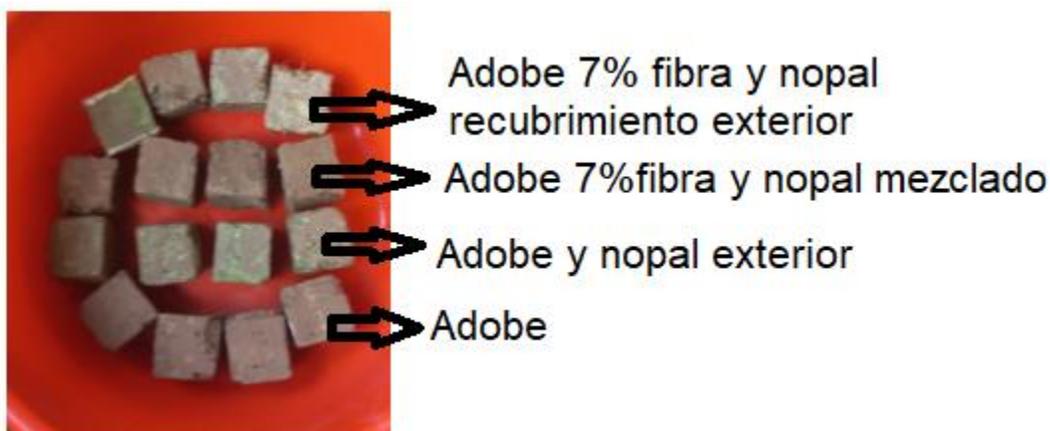


Figura 34: Bloques con 7% de fibra y nopal.

De manera similar con los bloques anteriores de 5 y 10%, al pasar los primeros 10 minutos comenzaban a destruirse los bloques de adobe que se ubican en la parte inferior de la tina con agua (Figura 35).



Figura 35: Bloques de adobe destruidos transcurrida prueba absorción en 10 min.

También, al transcurrir 30 min los bloques de adobe con nopal exterior comenzaron a desprenderse en algunas de sus caras, como si se formó una capa protectora con el nopal, pero no se veían tan afectadas como las de puro adobe, es decir, tenían cierta estabilidad que los mantenía uniformes (Figura 36).



Figura 36: Bloques de adobe con nopal min 30.

Al cabo de 8 horas, los bloques de adobe con nopal ya estaban completamente destruidos y los de adobe con fibra y nopal mezclado parecían un poco afectados, algunas de sus caras tenían daños por la absorción del agua, pero parecían estables (Figura 37).



Figura 37: Bloques de adobe con 7% de fibra 8 horas transcurrida la prueba de absorción.

Al cabo de 13 horas no pasaron muchos cambios, los bloques que quedaban estables solamente se dañaron en algunas de sus caras laterales (Figura 38).



Figura 38: Bloques de adobe con fibra y bloques de adobe con fibra y nopal siguen estables después de 13 horas iniciadas prueba de absorción.

Por último, los bloques que sobrevivieron al transcurrir 24 horas bajo el agua fueron los de fibra al 7% y con nopal (Figura 39).



Figura 39: Bloques de adobe con fibra y nopal soportaron la prueba en el agua durante más de 24 horas.
Al finalizar la prueba, los bloques que sobrevivieron pesaron alrededor de 176 gramos.

De los resultados de ambas pruebas de inmersión en agua, se tienen los pesos húmedos de cada proporción (Tabla 11).

Tabla 11

Pesos húmedos de cada mezcla con nopal que sobrevivieron 24 horas en inmersión al agua

Mezcla con nopal	Peso húmedo	Absorción
5% fibra	170	85%
7% fibra	176	88%
10% fibra	180	90%

Al tomar como referencia el peso de un bloque de adobe (200gr) y bajo el supuesto de que se deshace al contacto con el agua desde el minuto 5 es decir, casi al contacto con el agua se entiende que está 100% saturado (es un líquido). Y como se tienen los pesos húmedos de cada proporción que sobrevivió se tiene que si el 100% pesa 200 gramos la mezcla húmeda de 5% de fibra con nopal que pesó 170 gramos le corresponde una absorción del 85%. Y así sucesivamente para los otros bloques de mezclas.

De otra manera es imposible calcular la absorción de estos bloques, ya que en este caso el peso húmedo es menor que el peso seco porque gran parte del material se pierde en el agua cuando se deshacen los bloques.

Los pesos secos fueron de 165,168 y 170 respectivamente para la mezcla de 5, 7 y 10%. Es decir, la mezcla de 5% de fibra pesó 165 gramos.

Propiedades Termo Físicas

En este apartado se muestran los resultados referentes a la conductividad y resistencia térmica, el calor específico volumétrico y la difusividad en bloques de 5, 7 y 10% de agregado de bagazo de caña en bloques de 1800 gramos.

Resultados Bloques De Adobe Con 5 y 10% De Fibra De Bagazo De Caña

De acuerdo con los datos analizados la Tabla 12 muestra los diferentes valores para la conductividad térmica promedio de todas las probetas de 5 y 10% de fibra de bagazo de caña.

Tabla 12

Conductividad térmica de bloques de adobe de la primera familia

Fibra (gr)	Conductividad (w/mK)	Resistencia térmica ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Difusividad (mm^2/s)
0	0.639	157.275	2.281	0.284
10	0.639	157.275	2.284	0.296
20	0.397	257.298	1.704	0.237

Resultados Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña

Por otro lado, los parámetros térmicos de los bloques de adobe con 7% de agregado de fibra se comparan con los testigos (adobe) similar al procedimiento de los bloques con 5 y 10% (Tabla 13).

Tabla 13*Bloques de adobe con 7% de fibra*

Fibra (gr)	Conductividad (w/mK)	Resistencia ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Difusividad (mm^2/s)
0	0.376	267.7	2.244	0.180
14	0.327	305.9	1.894	0.174

Por otro lado, también se analizó el efecto de los bloques de adobe con 7% de agregado de fibra cuando se le agrega nopal como recubrimiento exterior. Para analizar la conductividad se elaboró la Tabla 14, en ella se aprecian los valores de las conductividades promedio de esta mezcla de bloques comparado con los de adobe.

Tabla 14*Bloques de adobe, 7% fibra y nopal exterior*

Fibra (gr)	Conductividad (w/mK)	Resistencia ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Difusividad (mm^2/s)
0	0.376	267.7	2.244	0.180
14	0.301	338.3	1.895	0.163

Adicionalmente, se agregó el nopal a los bloques de adobe con 7% de fibra de caña. En esta combinación el nopal se agregó mezclado junto con los otros

ingredientes. Para su análisis se elaboró la Tabla 15 que muestra las conductividades promedio de los tres bloques.

Tabla 15

Bloques de adobe, 7% de fibra y nopal mezclado.

Fibra (gr)	Conductividad (w/mK)	Resistencia ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Difusividad (mm^2/s)
0	0.376	267.7	2.244	0.180
14	0.240	417.8	1.317	0.185

Por último, se analizó los parámetros termo físicos en bloques de adobe cuando se le agrega nopal en la mezcla. Para facilitar su análisis, se elaboró la Tabla 16, donde se aprecia el impacto térmico del nopal en bloques de adobe contra los de adobe puro.

Tabla 16

Bloques de adobe con nopal como recubrimiento exterior.

Fibra (gr)	Conductividad (w/mK)	Resistencia ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$)	Calor específico volumétrico ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$)	Difusividad (mm^2/s)
0	0.376	267.7	2.244	0.180
14	0.386	259.2	1.830	0.226

Discusión Y Análisis De Los Resultados

En esta sección se comparan los resultados más relevantes de cada prueba con las aportaciones de otros investigadores, se analiza el cumplimiento del objetivo general de la investigación y se propone un trabajo a futuro a partir de los hallazgos relevantes de la investigación.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña

Se observó desde este primer análisis que las fibras mejoran los esfuerzos a compresión tal como menciona Danso. Además, es notable un comportamiento dúctil que se aprecia en los bloques con mayor contenido de fibras (10%), lo cual podría ser una ventaja notable para las construcciones de adobe, cumpliendo con la hipótesis planteada.

Respecto a la resistencia promedio medida en los bloques testigos, los bloques con fibra obtuvieron resistencias superiores entre un 10% (bloques con 5% de fibra) y 20% (bloques con 1% y 10% de fibra). Si bien la apariencia de las caras externas de los bloques variaba mucho, de acuerdo con el porcentaje de fibra, los esfuerzos normales promedio de las mezclas con 1% y 10% de fibra son similares. En el caso de los bloques con 5% de fibra, se observó una posible dependencia de la resistencia de acuerdo con el acomodo de las fibras en los bloques. Esta dependencia en el acomodo de la fibra también parece haber afectado a los bloques con la mezcla de 10% de fibra añadida ya que se observó una variación del esfuerzo normal para dos de los bloques que representan apenas el 41% y 27% del máximo que fue de aproximadamente 22 Kg/cm².

Respecto al tipo de falla observada en los bloques, se observó una clara diferencia entre los bloques testigos y los bloques con fibra añadida. Mientras que los bloques testigos presentaron fallas frágiles, los bloques con fibra añadida se comportaron como un material dúctil ante la compresión, presentando mayores índices de deformación antes de que se produjera la fractura; esto se observó principalmente en los bloques cuyo porcentaje de fibra añadida estaba entre 5% y 10%. Sin embargo, es importante

mencionar la posible dependencia en el acomodo de las fibras que afectó a dos de los bloques con 10% de fibra agregada.

Para la mezcla con agregados del 1% de fibra, el esfuerzo normal varió entre 14.72 y 18.23 Kg/cm², los valores obtenidos para cada bloque se muestran en la Tabla 5. Comparando los valores promedio para el esfuerzo normal entre los bloques control y este primer tratamiento experimental (12.39 y 15.33 Kg/cm², respectivamente), se observa que el tratamiento con 1% de fibra de bagazo de caña muestra una resistencia promedio 25% mayor. En cuanto a la deformación, el valor promedio de los bloques experimentales es de 2.6 mm, que corresponde a un 86% de la deformación promedio registrada en los bloques de control. En ambos parámetros, los bloques experimentales con 1% de fibra mostraron menos variabilidad que los bloques control (Gráficas 3 y 4).

Sin embargo, la proporción con 1% de fibra de bagazo de caña no tiene influencia considerable al mezclarse en bloques de adobe, ya que el esfuerzo normal parece incrementar un 24% pero la deformación decae un 16%, por lo que se decide trabajar en un futuro con las proporciones de 5% y 10% que son los rangos en los que se encuentran mejoras significativas.

Para la mezcla con 5% de agregado de fibra de bagazo de caña, el esfuerzo normal promedio registrado en los bloques fue 8% mayor que el de los bloques de control, en un rango que varió entre 13.13 y 17.89 Kg/cm². La deformación promedio registrada fue de 3.18 mm, apenas 3% por encima de la deformación promedio registrada en los bloques experimentales (los registros para cada bloque se muestran en la Tabla 5). Al igual que los bloques hechos con la mezcla con 1% de agregado de fibra de bagazo de caña, los bloques experimentales con 5% tienen menos variabilidad en ambos parámetros cuando se comparan con los bloques de control (Gráficas 3 y 4).

Los bloques elaborados con la mezcla en la que 10% del peso de tierra fue reemplazado con fibra de bagazo de caña, mostraron un comportamiento dual (Gráfica 1). En dos de ellos, el esfuerzo normal registrado fue menor que 10 Kg/cm², mientras

que, para los restantes, fue de alrededor de 22 Kg/cm². Sin embargo, el estado final de los bloques que registraron los esfuerzos más pequeños fue distinto al de los preparados con otras proporciones, ya que se compactaron, cediendo a la fuerza aplicada por la máquina, sin presentar fractura. En el caso de los bloques que registraron los mayores esfuerzos normales, estos también presentaron las deformaciones más grandes, 21.9 y 23 mm (Gráfica 3). Los bloques de este último grupo presentaron los valores promedio más altos, en cuanto al esfuerzo normal y la deformación: 15 Kg/cm² y 13.5 mm (Tabla 5).

Si bien, los resultados obtenidos en esta investigación son casi 3 veces menor a los resultados de Bock y otros con valores de 48.74 kg/cm², se debe tomar en cuenta que factores que varían como la composición del suelo, las dimensiones de las probetas, la composición del suelo y la metodología seguida en la preparación de los bloques (cantidad de agua, curado, mezclado de materiales, etc.), lo

Se logró mejorar la resistencia a compresión sobre los bloques de adobe un 121% con 14.95 kg/cm² y de 439% la deformación con 13.53 milímetros en los testigos de 125cm³. En contraparte Corréa y otros encontraron una mejora en el comportamiento a compresión de un 60% sobre los bloques testigos con dimensiones de 30x15x8cm y con otro tipo de fibra.

Así mismo, Pinto y otros lograron una resistencia de 13.48 kg/cm² en adobes sin fibra y de 16.58 kg/cm² utilizando adobes de 30x15x10cm con fibra de bagazo de caña al 5%. Comparando estos resultados con los de los bloques de adobe de esta prueba mecánica, se tiene un esfuerzo promedio de 12.39 kg/cm² y para los de adobe con fibra de bagazo de caña con 5% es de 13.46 kg/cm².

A pesar de que los resultados son similares con respecto al porcentaje de fibra añadido, la diferencia es que el dimensionamiento de los ladrillos usados por Pinto son ladrillos que exceden las dimensiones en 6x3x2 veces más grandes que los usados en las pruebas mecánicas (cubos de 5cm³). Sin embargo, los esfuerzos no difieren mucho,

en los adobes apenas una diferencia del 8%, mientras que para la fibra incrementa hasta un 19%.

Tal como se observa en el estado del arte de esta investigación específicamente en el subtema de estructuras de adobe y tierra comprimida, se tiene una gran cantidad de trabajos que aportan soluciones a las deficiencias mecánicas de los adobes, como las ventajas a la resistencia a compresión al usar fibras naturales como la fibra de bagazo de caña de azúcar.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña Con 6 Meses Almacenados

Se pudo observar en primera instancia que los materiales no se degradan, al menos en sus propiedades mecánicas. La resistencia y deformación mejoraron considerablemente alrededor del 50% en la resistencia para las dos proporciones de fibra (gráfica 7 y 8). Con lo anterior se cumple la hipótesis planteada de que las fibras de bagazo de caña ayudan a mejorar el comportamiento ante compresión de los bloques de adobe.

El caso de la proporción del 10% de agregado de fibra de bagazo de caña se obtuvo un esfuerzo de 42.52 kg/cm^2 y 2 cm de deformación, en este caso es un resultado positivo ya que aun así sigue mejorando los esfuerzos y deformaciones de los bloques de adobe de esta familia. En su investigación acerca de los adobes Minke reporta valores de 50 kg/cm^2 .

Como se observa en la Tabla 8, los bloques con mayores mejoras fueron los de la proporción de 10% de fibra de bagazo de caña tanto en fuerza como en deformación. Sin embargo, los resultados son muy diferentes a los elaborados inicialmente. Con esta familia de bloques ensayados lo que se pretendía medir, era la influencia de las fibras de bagazo de caña en la resistencia y si el periodo de antigüedad influía en la resistencia de los bloques, simulando a como si estuvieran en un almacén como normalmente sucede con los ladrillos convencionales. Los resultados indican que 6 meses de almacenamiento

no les afecta a los bloques de adobe con fibra de bagazo de caña en proporciones de 5% y 10% (gráfica 9).

De hecho, los resultados de los bloques almacenados muestran valores promedio por encima de los primeros, esto puede deberse principalmente a el acomodo de las fibras influye directamente en la resistencia ante esfuerzo normal y por ende la deformación (gráfica 9 y 10).

Además, se cree que las fibras con tendencia vertical en los bloques suelen tener mayor capacidad de resistencia a compresión mientras que las otras, tienen una tendencia a resistir mayores deformaciones. En una prueba futura se analiza este efecto.

El acomodo vertical de las fibras se refiere al cuándo arreglo es paralelo a las placas de esfuerzo en la máquina, aunque también existen fibras en sentido horizontal, sin embargo, la presencia de las verticales es visiblemente mayor.

Sin embargo, la geometría de las fibras no era visiblemente clara y no se pudo apreciar el impacto que ejerce un acomodo determinado. Por lo que mas adelante se analizó este efecto.

También se cree que el factor agua influye un papel importante para lograr comprimir más tierra en los bloques durante su elaboración, en pruebas futuras se considerará cuidar este factor con determinación.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña

Se descubrió en primera instancia que fibra de bagazo de caña al 7% desestabilizan a los bloques, perjudicando ligeramente la resistencia a compresión y segundo, que el acomodo de las fibras ejerce una influencia en la resistencia y por ende su deformación.

Indirectamente se midió la correlación que tienen las fibras, es decir, los valores de la resistencia a compresión de la mezcla del 7% tendrían que estar entre los dos anteriores, pero nada aseguraba que así fuera, debido a que no se puede garantizar el

comportamiento de materiales heterogéneos tal como Yetgin y otros encontraron que llega una proporción de fibra en la que agregar una determinada cantidad conlleva a resultados deficientes en el esfuerzo a compresión.

Sin embargo, se observa que en efecto la proporción de 7% sigue una tendencia en la resistencia mecánica que se refleja en la orientación de las fibras.

Se puede apreciar que los bloques con agregado de fibra en el sentido de forma horizontal tienen esfuerzos que representan una tercera parte de los bloques de adobe.

Sin embargo, su diferencia está en la deformación ya que los bloques con agregado de fibra en este sentido parecen ser cuatro veces más deformables que los de puro adobe, es decir, casi dos veces más que los de sentido vertical, pero con la mitad de su capacidad para resistir esfuerzos normales (gráfica 12).

Es importante recalcar que durante la elaboración de los bloques se pensó en descartar estos planteamientos ya que es imposible verificar que se cumpla al 100% que las fibras de bagazo de caña están orientadas en cierta orientación, ya que la mezcla de adobe con estas fibras se realiza por amasado, solo se cuidó que se cumpliera en la medida que se permitiera. Hasta el momento en que se analizaron los resultados fue que se descubrió esta interacción.

Sin embargo, es importante señalar que una de las razones de por qué no se pudieron analizar los bloques junto con los de 5 y 10% es debido a que la elaboración de cada familia de bloques fue diferente. En primera instancia la tierra para formación de adobes no fue del mismo sitio, afectando la composición granulométrica y por ende su comportamiento mecánico a compresión.

Lo segundo fue que la tierra para formación de adobes de estos segundos bloques con 7% de fbc fue con tierra que se cribó en la malla No.100, mientras que la tierra para formación de adobes de los primeros bloques con 5 y 10% de fbc no se les dio ningún cribado extra del que se tomó en el sitio de extracción, siendo un material con mayor cantidad de arenas gruesas. También, el procedimiento de los bloques de 7% de fbc se

llevó a cabo en laboratorio, por lo cual se usaron moldes diferentes y por ende la metodología cambió conforme las mezclas anteriores de 5 y 10%.

Debido a lo anterior, es uno de los motivos por lo cual se complica analizar los bloques de 5,7 y 10% en conjunto por lo que se optó por analizarlos cada uno con su familia de bloques testigos (adobe) como lo muestra la Tabla 10.

De los resultados de la Tabla 10, se puede apreciar que el esfuerzo normal de los bloques de adobe se mejora un 8% al agregar 5% de fibra de bagazo de caña (fbc), mientras que se mantiene proporcional esta tendencia, ya que para cuando se agregó 10% de fbc se mejoró un 17% con un valor de $\sigma = 14.95 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, la variación de la deformación no fue proporcional, ya que los bloques con 5% de fbc mejoraron apenas un 3%, mientras que los del 10% incrementaron un 77% su capacidad de deformación con 13.53 milímetros.

Por otro lado, los bloques de adobe tuvieron una resistencia de 13.28 kg/cm^2 y una deformación de 1.39 mm, esto indica una capacidad de resistencia ligeramente más fuerte que los bloques de adobe de la familia anterior con 5 y 10% de fbc, pero su deformación fue mayor indicando que posiblemente los bloques con 7% tienen un comportamiento ligeramente más frágil (Tabla 10).

También, los resultados de la Tabla 10 indican que los bloques con tendencia a la orientación de fibras horizontales son 3 veces más débiles que los testigos (adobe) pero su deformación tiende a ser 6 veces mayor que los bloques de esta familia de bloques analizados. Este resultado podría indicar que la configuración de las fibras de esta forma ayudaría a conseguir comportamientos dúctiles en un sistema constructivo.

Por último, los resultados de la configuración vertical de los bloques con 7% de fbc, indican que la resistencia a compresión disminuye un 33% con un valor de 10.75 kg/cm^2 pero la deformación incrementa en casi 2 veces con respecto al testigo (Tabla 10).

Este resultado se parece a un comportamiento frágil, ya que esta configuración es similar a la de los bloques testigos (adobe), si bien tienen una buena resistencia a compresión, no logran resistir por mucho tiempo porque se deforman bastante rápido que logran un colapso inmediato.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento

Se comprobó que las fibras de bagazo de caña de azúcar con recubrimiento de nopal ayudan a mejorar ligeramente la resistencia a compresión de los bloques de adobe tal como se plantea en la hipótesis. Sin embargo, el impacto del nopal ante contacto con el agua se evalúa en una prueba futura.

De la Tabla 11, se puede apreciar que la única proporción de agua que se vio afectada la resistencia a compresión en adobes con 7% de fibra de bagazo de caña (fbc) fue con 33 gramos de agua. En esta proporción la resistencia bajó un 7% con 9.53 kg/cm² respecto a los bloques de adobe (testigos) con 10.25 kg/cm².

También, al agregar 167 gramos de agua la resistencia de los bloques con 7% de fbc mejora un 1% con respecto a los testigos (gráfica 13) y su deformación mejora hasta 4.18 veces (gráfica 14).

Por otro lado, al agregar nopal como recubrimiento a bloques de adobe con 7% de fibra y 167 gramos de agua la resistencia tiende a ser 7% más efectiva que los testigos (gráfica 13) y hasta 3 veces más deformable (gráfica 14).

Se puede observar que el nopal ejerce una mejora del 31% de la resistencia a compresión, al comparar los valores de los bloques de adobe con nopal contra los de testigos (gráfica 15). Sin embargo, la deformación disminuyó un 65% (gráfica 16).

Prueba De Absorción De Agua

De los resultados se observa que el nopal ayuda a estabilizar los bloques con fibra de bagazo de caña y que influye en la capacidad de resistir la prueba de absorción del agua. Las fibras de bagazo de caña en porcentajes de 5,7 y 10% con relación al peso del

material (Tabla 1) ayudan a soportar más tiempo bajo el agua en los bloques de adobe, de esta manera se cumple con el objetivo planteado.

Sin embargo, los bloques que resistieron las 24 horas sumergidas ante el agua fueron los que tenían recubrimiento de nopal y fibra de bagazo de caña.

Es importante destacar que lo que se busca para mitigar el efecto de la absorción de agua es el mucílago de nopal, esto es la parte viscosa de color traslucido que se desprende del nopal (savia), de tal manera que combinarlo con el adobe puede ayudar a mejorar la permeabilidad.

Por lo tanto, la combinación que se usó en esta investigación fue la que incluye el nopal con fibras, es decir, el nopal crudo que se molió con todo y cascara y se recuperó las fibras junto con la savia podría ser que esto también influyó en los resultados de la interacción con el agua (Figura 6).

También, existe una relación directamente proporcional al agregar fibras de bagazo de caña en los adobes que se refleja en la absorción de agua, es decir entre más porcentaje de fibra contiene, su absorción es mayor. Sin embargo, todas las mezclas que sobrevivieron la interacción con el agua están dañadas, ya que su peso húmedo después de 24 hrs fue menor que un bloque seco de 200 gramos (Tabla 12).

Al agregar fibra de bagazo de caña, ayuda a aumentar el porcentaje de absorción de agua, esto pudiera parecer contraproducente debido a que las fibras de bagazo de caña tienen pueden absorber hasta un 70% de agua, pero las fibras ayudan a que estos permanezcan estables.

En la mayoría de las figuras de la prueba de absorción de agua se puede apreciar el agua turbia, significando el desprendimiento total o residual de los bloques, sin embargo, las fibras ayudaron a estabilizar la consistencia de los adobes. Por esto, se perdió material durante la prueba de absorción de agua, pero, las fibras del bagazo de caña y el nopal ayudaron a la estabilización de los adobes, de lo contrario no se habrían podido extraer con la forma de bloque.

Propiedades Termo Físicas De Los Materiales

Como se pudo observar en los resultados, la fibra de bagazo de caña ayuda a mejorar el rendimiento de la conductividad térmica en los bloques con fibra y nopal.

En todas las mezclas se aprecia una disminución en la conductividad térmica a excepción de los bloques con adobe y nopal con recubrimiento (Tabla 17) que refleja un ligero incremento del 2% con 0.386 (W/mK).

Aun así, las conductividades de esta investigación científica siguen en el rango de la literatura como lo menciona Bahobali con 0.847(W/mK) para testigos (adobes) con dimensiones de 250 cm³, comparado a los de esta investigación son una cuarta parte más pequeños. Mientras que el valor mayor de conductividad que arroja en esta investigación es de 0.639 W/mK con las porciones de 5 y 10%.

Las variaciones de los resultados térmicos se deben principalmente a la combinación de materiales. Al combinar tierra, con fibra y con nopal surge un nuevo material que modifica sus propiedades, principalmente su densidad. Esto es un factor determinante en cada una de las mezclas estudiadas.

Un ejemplo de variabilidad en los parámetros térmicos es el de la primera familia de bloques analizados, en el que se comparan los parámetros térmicos de bloques de adobe (testigos), bloques con 5% de fibra de bagazo de caña (fbc) y bloques con 10% de fbc. A pesar de que sus conductividades son muy similares en los testigos y los del 5%, su valor representa el 62% con 0.397 (w/mK) cuando se usa el doble de fbc. En comparación con Acosta & García encontraron que la conductividad térmica de bloques de adobe con paja es de 0.18 w/mK.

Se puede decir que esta combinación de materiales tiene poca probabilidad de transmitir sensaciones calientes, ya que se tienen difusividades que rondan en los valores desde 0.163 mm²/s hasta 0.296 mm²/s para la mezcla de adobe con 5% de fibra de bagazo de caña.

En el caso de los bloques con 7% de fibra de caña y nopal mezclado en cuanto a conductividad térmica tuvieron resultados similares a los bloques con 5 y 10% de fibra. Cabe mencionar que las variaciones se deben principalmente a que el banco de tierra cambio ligeramente en su composición y no solamente la variable del nopal puede ser la encargada de que la conductividad sea casi la mitad en los bloques con 7% de fibra

Además, los bloques con fibra de bazo de caña y nopal fueron más livianos en comparación con los de adobe puro.

Así mismo, los bloques con 7% de fibra de bagazo de caña y nopal mezclado tiene una conductividad térmica de 0.240 w/mK que coincide en la investigación de Calatan y otros donde encontraron conductividades similares usando la proporción de 10% de fibra de paja.

También las fibras tienden a aligerar los materiales por sus propiedades físicas, al usar fibras con la tierra provoca a que en el nuevo material exista mayor cantidad de poros, esto también afecta directamente los parámetros térmicos al modificar las relaciones de vacíos (Ashour, Korjenic, & Korjenic, 2015).

Se cree que el usar el nopal ayuda a cerrar los poros cuando se usa como recubrimiento exterior en las superficies de los bloques. Ya que un supuesto inicial era que no debía existir variación significativa en los bloques de adobe vs los de adobe con fibra y nopal, sin embargo, los resultados demuestran que cada material se comporta diferente, aunque muy parecido en algunos casos, como el de la mezcla 1 y 2 (Tabla 14 y 18).

Otro factor importante en el que se debe tomar en cuenta al momento de analizar elementos con tierra es asegurarse de que el material es tomado del mismo sitio. Al ser un material que es difícil de caracterizar a simple vista, sus propiedades granulométricas pueden variar de un lugar a otro influyendo directamente en su comportamiento térmico.

Esto fue lo que pasó cuando se ensayó la primera familia de bloques, debido a que se terminó el material con el que se comenzó, en un futuro se volvió a conseguir material de donde mismo, sin embargo, se cree que existen variaciones por dos razones, 1. El color de la tierra es diferente en ambos tiempos que se ensayó (Figura 31 y 33) y 2. Los resultados de los parámetros térmicos indican que no existe similitud unas con otras (Tabla 9 y 13) por ese motivo no se comparó la influencia de los parámetros térmicos en las proporciones de 5% y 10% de fibra de bagazo de caña contra las del 7% de fbc.

De acuerdo con los resultados de las pruebas térmicas, se encontró que las fibras de bagazo de caña ayudan a disminuir la transferencia de energía en los bloques de adobe. Algunos autores creen que este factor se debe a la combinación de las propiedades naturales como la disminución de los poros (Benmansour et al., 2014).

Conclusiones

En esta sección se encuentran las conclusiones de los resultados, se analiza el cumplimiento del objetivo general de la investigación y se propone una continuidad para trabajo a futuro a partir de los hallazgos relevantes de la investigación.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 1, 5 Y 10% De Fibra De Bagazo De Caña

La hipótesis se cumple debido a que las porciones propuestas del rango del 1 al 10% de fibra de bagazo de caña impactan de manera positiva en un mejoramiento ante fuerzas de aplastamiento hasta un 121% con 14.95 kg/cm^2 , con una deformación de 13.53 mm y respecto a los bloques testigo.

Así mismo, se comprobó el objetivo al agregar fibra de bagazo de caña con nopal para propiciar una ventaja en el desempeño ante esfuerzos normales de los bloques de adobe, tal y como se demuestra en esta investigación.

Sería interesante replicar esta prueba con las dimensiones de los bloques con 30x15x10cm y comprobar si se obtienen resistencias similares, o si el dimensionamiento influye en la interacción con los materiales, en particular de las fibras.

Prueba De Compresión En Bloques Con 6 Meses Almacenados

Las fibras de bagazo de caña ayudan a mejorar el esfuerzo de compresión e incluso le otorga durabilidad a lo largo del tiempo en resguardo, al menos en 6 meses de almacenamiento en condiciones normales de ambiente. Lo cual cumple con la hipótesis planteada.

La mezcla de fibra de bagazo de caña de entre 5 y 10% favorece un incremento ante las fuerzas a compresión, es decir, los adobes combinados con fibras resultaron resistir mayores esfuerzos de casi 3 veces mayor con 42 kg/cm^2 y deformaciones de 2 cm, lo cual cumple con el objetivo de la investigación.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña

Intentar un acomodo para medir el impacto que tienen las geometrías de las fibras en una mezcla de adobe repercute en resultados no favorables, que no benefician la resistencia a compresión de los bloques de adobe al 100% pero tampoco la perjudican desfavorablemente ya que las fibras verticales tienen un esfuerzo de compresión de 10.75 kg/cm^2 , apenas un 33% menor que el esfuerzo del testigo, la ventaja es que su deformación es alrededor de 2 veces mayor con 3 mm.

En contraparte, la resistencia a compresión de los bloques con fibras orientadas de forma horizontal presenta un esfuerzo de compresión de 4.5 kg/cm^2 , pero una deformación de 6 mm. Esto podría funcionar para elaborar muros separadores que no requieran cargas considerables

Las fibras verticales ejercen mayor resistencia en los bloques mientras que las horizontales tienden a ser más deformables con esfuerzos menores.

Habría que evaluar si la tendencia en la proporción de la fibra de bagazo de caña es lineal y hasta que medida o seguir buscando métodos para examinar la correlación de la geometría de las fibras con los esfuerzos de compresión. Hasta el momento se ha comprobado que agregar 1, 5 y 10% tiene un impacto positivo en el esfuerzo a compresión, mejorando la interacción con el agua respecto a un bloque de puro adobe.

Prueba De Compresión En Bloques De Adobe Con 7% De Fibra De Bagazo De Caña: Influencia De La Cantidad De Agua Y El Nopal Como Agregado De Recubrimiento

Agregar fibra de bagazo de caña a los bloques de adobe beneficia una mejora ante la resistencia mecánica un 77% con un esfuerzo a compresión de 13.43 kg/cm^2 para la mezcla de adobe con 7% de fibra y nopal como recubrimiento usando una porción de agua de 100 gramos.

La cantidad de agua influye de manera directamente proporcional en la resistencia de los bloques de adobe, como sucede con la mezcla con 33 gramos de agua en la que

su esfuerzo de compresión decae un 7% con 9.53 kg/cm^2 respecto a los bloques de adobe (testigos) con 10.25 kg/cm^2 .

Un mayor contenido de agua provoca apenas una ventaja del 1% sobre la resistencia mecánica y mejora el rendimiento en la deformación con 2.1 cm.

El nopal estabiliza los bloques de adobe, intercambiando resistencia a compresión por deformación, similar a como sucedió en la prueba anterior con la geometría de las fibras.

Podría ser interesante evaluar el comportamiento ante esfuerzos de compresión de bloques de adobe con 10% de fibra de bagazo de caña o mayor, agregando nopal mezclado y como recubrimiento, con la finalidad de verificar en qué medida se beneficia respecto a un bloque con 7% de fibra.

Prueba De Absorción De Agua

La fibra de bagazo de caña ayuda a estabilizar los bloques de adobe cuando se someten al contacto con el agua logrando un 67% de durabilidad en la prueba de absorción de agua de 24 horas sumergidos.

Los bloques se degradan sin importar la combinación de mezcla que tengan, pero los que tienen fibra de bagazo y nopal no pierden su estabilidad, al menos en 24 horas sumergidos en agua logrando durar la prueba.

Los bloques de adobe con fibra de caña al 7% y nopal mezclado resisten bajo el agua casi 8 horas más que los que no tienen fibra de bagazo de caña.

Existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de las fibras de bagazo de caña y los adobes con su estabilidad al estar en contacto con el agua. Los bloques con fibras de 20 gramos resisten casi las 24 horas, a diferencia de las de 10 gramos que se empiezan a deteriorar a partir de las 16 horas.

Existe una relación directamente proporcional entre la proporción de las fibras de bagazo de caña en los adobes con su capacidad para absorber agua. Cuando se agrega

20 gramos de fibra absorbe 90% en contraste con el bloque con 10 gramos de fibra que absorbe 85% de agua.

Propiedades Termo Físicas De Los Materiales

Agregar fibra de bagazo de caña causa un impacto positivo en la conductividad, disminuyéndola al 38% con un valor de 0.397 (W/mK) cuando se usa 10% de fibra de bagazo de caña.

De igual manera, todas las conductividades de las mezclas con 7% de fibra de bagazo de caña se mejoran, lo cual significa que estos materiales combinados podrían emplearse para mitigar sensaciones térmicas altas.

La única mezcla que incrementa 2% la conductividad térmica sobre los bloques testigos, es la del adobe con nopal como recubrimiento exterior con un valor de 0.386 W/mK, sin embargo, esto no representa una gran diferencia.

De los resultados térmicos, se puede concluir que los objetivos de esta investigación se cumplieron ya que la finalidad fue el mejoramiento de los parámetros como la conductividad y la difusividad de los adobes a través de fibras del bagazo de caña y el nopal con las mezclas propuestas.

En este caso, para el estudio de la formación de adobes con fibras naturales ha dado conocimiento que servirá para concluir con la investigación de tesis que se ha llevado a cabo en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Colima en la MASGU y que se espera seguir innovando en la propuesta de materiales sustentables para la construcción.

Conclusión General

Agregar fibra de bagazo de caña y nopal al adobe ayuda a mejorar el desempeño mecánico, térmico y de interacción con el agua en bloques de adobe.

El tamaño de las fibras de bagazo de caña que se usaron para las mezclas de adobe fue menor a 5 centímetros y en estado seco.

El proceso de elaboración de los bloques de adobe combinados con fibra de bagazo de caña, tal como se describió en el apartado de metodología, es un sistema desarrollado a partir de la elaboración de los bloques de adobe. Además de estudiar las referencias bibliográficas sobre lo que otros autores han hecho, se construyó un proceso basado en el método científico.

Combinar fibra de bagazo de caña con adobe ayuda a mejorar la resistencia a compresión normal de los bloques de adobe. Los mejores resultados se obtuvieron con las proporciones de 5, 7 y 10% de fibra de bagazo de caña. El principal beneficio, es en el aspecto del comportamiento dúctil que aportan las fibras. De esta forma, al emplearlas, no solamente mejora la resistencia si no que evitaría que la estructura colapsara por el peso que llega a tener un elemento de tierra.

En otras palabras, lo anterior cumple con la hipótesis planteada en un inicio, ya que la combinación de estos materiales además de formar uno ligero, con mejor capacidad de soportar fuerzas de aplastamiento, con mejor ductilidad, que soporta interacciones con el agua hasta 24 horas volviéndolo estable y que también es buen aislante térmico permitiendo el mejoramiento del confort térmico. Además, se trata de materiales que son ecológicos, económicos y accesibles para todas las personas en casi cualquier parte del mundo.

Hasta el momento, solo se ha analizado el impacto ante carga normal que puede tener una pieza con este tipo de materiales naturales propuestos. Por otro lado, sería conveniente analizar el alcance estructural que tendría un muro de adobe en un sistema constructivo a base de materiales naturales como la fibra de bagazo de caña y el nopal.

Normalmente los adobes no se recomiendan en zonas con alta actividad sísmica por su fragilidad, debido principalmente al bajo desempeño ante esfuerzos cortantes y momentos que se generan durante estos eventos, es por eso, que estas estructuras son

diseñadas con grandes espesores, para amortiguar las deficiencias y proteger la estructura, sin embargo, esto también puede provocar mayor riesgo, al contar con muros más pesados con mayor riesgo de colapso inmediato en dado caso de un evento sísmico de gran escala por eso la relevancia de innovar en materiales ligeros.

Las técnicas constructivas con adobe no están al cien por ciento desarrolladas en México, principalmente porque no hay demanda, esto ocasiona que las normas y reglamentos se apeguen a criterios sobre lo que más se usa para construir, en este caso materiales como el concreto, acero o madera.

Por otro lado, mezclar fibra de bagazo de caña y nopal como recubrimiento exterior con adobe potencializa la interacción con el agua, logrando resistir más tiempo. Además de mejorar la resistencia ante el contacto con el agua, las fibras de bagazo de caña y el nopal garantizan una estabilidad de más de 24 horas en contacto con el agua.

De igual manera, hasta el momento solo se analizó el impacto que podría tener una pieza de adobe sumergida en agua en un lapso de 24 horas. Resultaría interesante observar cuál es el impacto en un muro de adobe habitacional, debido a que los efectos por erosión del ambiente son un factor por considerar que se necesita solucionar en los elementos a base de tierra. Este muro tendría la oportunidad de someterse a escenarios reales con lluvia, sol y viento del entorno, de acuerdo con la temporada, las situaciones climáticas varían y se estimaría la interacción de la estructura en un año.

Combinar fibra de bagazo de caña con adobe y nopal beneficia para tener una conductividad térmica baja. Esta es otra ventaja para facilitar el confort térmico en climas con temperaturas altas como el estado de Colima.

Si bien, las estructuras de adobe no son recomendadas en sitios de alta sismicidad, se podría hacer una propuesta en la que se incluyan elementos como muros de adobe que no reciban carga estructural, que sean separadores, podrían servir como amortiguadores para mitigar los efectos del calentamiento global.

Como trabajo a futuro, sería conveniente analizar el comportamiento mecánico, interacción con el agua y comportamiento térmico de un muro de adobe con fibra de bagazo de caña y nopal e innovar en un sistema constructivo a base de materiales naturales que sea eficaz y seguro con la ventaja de beneficiar el impacto ambiental.

Del mismo modo, resultaría interesante estudiar la integración de mayor porcentaje de fibras de bagazo de caña con nopal para evaluar su capacidad de resistir esfuerzos normales, interacción con el agua y comportamiento térmico con la finalidad de comprender hasta qué punto las fibras comienzan a ser un inconveniente en la integración de bloques de adobe.

Referencias

- 080, N. E. (2017). *Diseño y construcción con tierra reforzada*. Obtenido de: https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376
- Acosta, J. D. R.-, Diaz, A. G.-, Zarazua, G. M. S.-, & Garcia, E. R.-. (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. *Journal of Applied Sciences*, 10(19), 2211–2216. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2211.2216>
- Acosta, J. D. R.-, Diaz, A. G.-, Zarazua, G. M. S.-, Garcia, E. R.-, Acosta, J. D. R.-, Diaz, A. G.-, Zarazua, G. M. S.-, & Garcia, E. R.-. (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. *JApSc*, 10(19), 2211–2216. <https://doi.org/10.3923/JAS.2010.2211.2216>
- Aguilar-Rivera N. (2011). Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 1, 189–197.
- Alam, I., Naseer, A., & Shah, A. A. (2015a). Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas. *Construction and Building Materials, Complete*(77), 154–159. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.12.046>
- Alam, I., Naseer, A., & Shah, A. A. (2015b). Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas. *Construction and Building Materials*, 77, 154–159. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.12.046>
- Aldana, J., & Serpell, A. (2012). Topics and tendencies of construction and demolition waste: A meta-analysis [Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: Un metaanálisis]. <http://repository.udem.edu.co/handle/11407/1403>
- Algara-Siller, M., Javier, G., & González, A. (2012). *Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí*. <https://www.researchgate.net/publication/233578704>

- Al-Oqla, F. M., & Sapuan, S. M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 66, 347–354. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.10.050>
- Arabi, M., & Wild, S. (1986). Microstructural development in cured soil-lime composites. *Journal of Materials Science* 1986 21:2, 21(2), 497–503. <https://doi.org/10.1007/BF01145514>
- Aranda Jiménez, Y. G., & Suárez Domínguez, E. J. (2014). *Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000100017
- Araya-Letelier, G., Antico, F. C., Burbano-Garcia, C., Concha-Riedel, J., Norambuena-Contreras, J., Concha, J., & Saavedra Flores, E. I. (2021). Experimental evaluation of adobe mixtures reinforced with jute fibers. *Construction and Building Materials*, 276, 122127. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122127>
- Arroyo Vásquez, W. M. (2019). *Alternativas de protección en construcciones de adobe a partir del análisis de vulnerabilidad ante inundaciones de las zonas de alto riesgo, provincia de Trujillo*. <http://181.176.219.234/bitstream/handle/UPRIT/176/ARROYO%20VASQUEZ%20WALTER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ashour, T., Korjenic, A., & Korjenic, S. (2015). Equilibrium moisture content of earth bricks biocomposites stabilized with cement and gypsum. *Cement and Concrete Composites*, 59, 18–25. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2015.03.005>
- Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., & Wu, W. (2015). Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy and Buildings*, 104, 139–146. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.07.016>
- Attoh-Okine, B. (1990). Stabilising effect of locally produced lime on selected laterite soils. *Construction and Building Materials*, 4(2).

- Aymerich, F., Fenu, L., & Meloni, P. (2012). Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material. *Construction and Building Materials*, 27(1), 66–72. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.08.008>
- Bacalla Lapiz, S., & Vega Dávila, M. (2019). Estudio comparativo de la resistencia a la compresión F´ C 210 kg/cm² usando fibra natural de coco como material de construcción en la provincia de Rioja. Obtenido de: <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/734>
- Bahobail, M. A. (2012). The mud additives and their effect on thermal conductivity of adobe bricks. *Journal of Engineering Sciences*, 40(1), 21–34.
- Barba Pingarrón, L. A., & Córbova Frunz, J. L. (2015). *Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan*. <http://ru.iiia.unam.mx:8080/ruiia/jspui/handle/10684/27>
- Benmansour, N., Agoudjil, B., Gherabli, A., Kareche, A., & Boudenne, A. (2014). Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*, 81, 98–104. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.05.032>
- Binici, H., Aksogan, O., & Shah, T. (2005). Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Construction and Building Materials*, 19(4), 313–318. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2004.07.013>
- Binici, H., Aksogan, O., Bakbak, D., Kaplan, H., & Isik, B. (2009). Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1035–1041. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.05.008>
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, M. N., Akca, E., & Kapur, S. (2007). Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building Materials*, 21(4), 901–906. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.11.004>
- Bock-Hyeng, C., Ofori-Boadu, A. N., Yamb-Bell, E., & Shofoluwe, M. A. (2016). Mechanical properties of sustainable adobe bricks stabilized with recycled sugarcane fiber waste. *Int.*

Journal of Engineering Research and Application *Www.Ijera.Com*, 6, 50–59.
www.ijera.com

Braja M., D. (2008). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.

Bui, Q. B., Morel, J. C., Venkatarama Reddy, B. v., & Ghayad, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912–919. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2008.07.001>

Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology*, 22, 259–265. <https://doi.org/10.1016/J.PROTCY.2016.01.077>

Campos Cruzado, N. (2018). *Resistencia a compresión, flexión y absorción de bloques de adobe compactado, con adición de fibras de caña* (Doctoral dissertation, Tesis de grado, Ingeniería civil, Universidad privada del norte). Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11537/14751>

Carcedo Fernández, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula* (Doctoral dissertation, Arquitectura Técnica).

Chan, C. M. (2011). Effect of Natural Fibres Inclusion in Clay Bricks: Physico-Mechanical Properties. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 5(1), 7–13. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1331783>

Corrêa, A. A. R., Protásio, T. D. P., de Lima, J. T., Tomoli, G. D., & Mendes, L. M. (2015). Mechanical Properties of Adobe Made with Sugar Cane Bagasse and “Synthetic Termite Saliva” Incorporation. *Key Engineering Materials*, 634, 351–356. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.634.351>

Cortés Martínez, C. I. (2009). Propiedades mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del *Agave angustifolia* Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/handle/LITER_CIIDIROAX/82

- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*.
<https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Daniel, J., Taborda, T., Tecnológica, U., Pereira, D. E., de Ingeniería, F., & Pereira, M. (2014). *Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio*.
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4466>
- Danso, H., Martinson Brett, D., Ali, M., & Williams, J. (2015). *Effect of fibre aspect ratio on mechanical properties of soil building blocks - ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181500286X>
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. (2015). Effect of fibre aspect ratio on mechanical properties of soil building blocks. *Construction and Building Materials*, 83, 314–319. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.03.039>
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. B. (n.d.). *Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres*.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.069>
- De León Castillo, R. (2012). Evaluación del mucílago de nopal como reductor de retracción en concreto auto-consolidable. *Nuevo León, México*. Obtenido de:
http://www.ibracon.org.br/eventos/54CBC/I_SILAMCAA/ART-Alejandro_SILAMCAA.pdf
- Deboucha, S., & Hashim, R. (2011). A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. *Scientific Research and Essays*, 6(3), 499–506.
<https://doi.org/10.5897/SRE09.356>
- Degirmenci, N. (2008a). *The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization* - *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061807000359>

- Degirmenci, N. (2008b). The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1220–1224. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2007.01.027>
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2015a). *Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers* - *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264127515003676>
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2015b). Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers. *Materials and Design*, 83, 813–819. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2015.06.017>
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2016). Compressed soil blocks: Influence of fibers on flexural properties and failure mechanism. *Construction and Building Materials*, 121, 25–33. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.05.151>
- Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Kagiannas, A. G., & Psarras, J. (2006). Renewable energy sources and rational use of energy development in the countries of GCC: Myth or reality? *Renewable Energy*, 31(6), 755–770. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2005.05.010>
- Durán Herrera, A., de León, R., Juárez, C. A., & Valdez, P. (2012). *Mucilago de nopal como reductor de retracción en concreto auto consolidable*. http://www.ibracon.org.br/eventos/54CBC/I_SILAMCAA/ART-Alejandro_SILAMCAA.pdf
- Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Petric, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*, 24(8), 1462–1468. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.01.008>
- García-León, R. A., Flórez-Solano, E. N., & Espinel-Blanco, E. (2017). Conductividad térmica de polvos de arcilla utilizados en la industria cerámica de Ocaña, Norte de Santander y la región. *Revista Ingenio*, 13(1), 29-37.

- García-Ten, J., Orts, M. J., Saburit, A., & Silva, G. (2010). Thermal conductivity of traditional ceramics: Part II: Influence of mineralogical composition. *Ceramics International*, 36(7), 2017–2024. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2010.05.013>
- Ghavami, K., Toledo Filho, R. D., & P. Barbosa, N. (1999). *Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres* - ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095894659800033X>
- Gómez, S. (2009). Diseño, experimentación y evaluación del sistema constructivo sam (sistema de bloques fibrorreforzados con fibra del desecho del fruto del coco, para la construcción de vivienda). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2996_C.pdf
- González Velandia, K. D., Sánchez Bernal, R., Pita Castañeda, D. J., & Pérez Navarro, L. F. (2019). *Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes*. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.030>
- González, G., de Barcia, E., Sulbaran, Y., & Ucar, R. (2014). *Ciencia e Ingeniería*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550626003>
- Goure Doubi, H., Niamien Kouamé, A., Konan, L. K., Tognonvi, M., Oyetola, S., & Doubi, H. G. (2017). Thermal Conductivity of Compressed Earth Bricks Strengthening by Shea Butter Wastes with Cement. *Materials Sciences and Applications*, 08(12), 848–858. <https://doi.org/10.4236/MSA.2017.812062>
- Graham McHenry, P. (1984). *Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction* - Paul Graham McHenry - Google Libros. <https://books.google.com.ec/books?id=q4GU71IMn3kC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Guerrero Baca, L. F. (2014). *Potencial ecológico de la edificación con ADOBE*. <https://editorialrestauro.com.mx/gremium/index.php/gremium/article/view/185/99>

- Guerrero Baca, L. F. (2018). *Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada | Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas «Mario J. Buschiazzo»*.
<https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/anales/article/view/235>
- Guettala, A., Abibsi, A., & Houari, H. (2006). Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. *Construction and Building Materials*, 20(3), 119–127. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.02.001>
- Guzmán Loayza, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45. INEGI. (2011). *Materiales construcción Colima*.
- Huerta, J. E. T., & Esteban, J. (2013). Bioconstrucciones, una alternativa a la ocupación y el desarrollo de comunidades rurales.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63812977/BIOCONSTRUCCIONES20200702-24289-19hm1qf-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642008413&Signature=hQLvTOib3e3-ljhg8Ftvobab9Tw6Uedyh39Dw3P-Xak4Sc8VuDfeV0GC2CH0tyL~7KNED0zW~fLRJWymIBOldMjktv1GpKKRItM-GAjahFiBna1sjshpuv0z1XPfdX7iT103c81kUYUTDewWu-MQTuCxjy7ox~o8WQDuYx7~NmQ3BI~6MtPCGKeS0r4SdmDYfufKRL~C30Xgy9ufnyjCgmjhPQQxi-PT07IZpH0kjMpELV03Ows28XqzOM6Grwea5iR6LEqVZYpt7ryjQ3ILSmJImGBJiZYMvjQ9jpBWAckuoe-NbDTGb144tBJI4YUwzWKqzLJWblpCnN6hz3KMw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Jayasinghe, C., & Mallawaarachchi, R. S. (2009). Technical Report. *Materials and Design*, 9(30), 3859–3868. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2009.01.029>
- Juárez Badillo Rico Rodríguez. (1974). *Mecánica de suelos* (Limusa, Vol. 1).

- Kadir, A. A., & Maasom, N. (2013). Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. *Undefined*.
- Kardak, A. A. , & S. G. B. (2020). *Stress Concentration Factors for ASTM E8/E8M-16a Standard Round Specimens for Tension Testing*. .
- Kardak, A. A., Bilich, L. A., & Sinclair, G. B. (2017). Stress concentration factors for ASTM E8/E8M-15a plate-type specimens for tension testing. *Journal of Testing and Evaluation*, 45(6). <https://doi.org/10.1520/JTE20160385>
- Kumar, A., Walia, B. S., & Mohan, J. (2006). Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay. *Construction and Building Materials*, 20(10), 1063–1068. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.02.027>
- Legaz Berbel, R. (2010). *Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9403>
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A., & Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 35, 829–837. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.04.127>
- Máquina de ensayo de materiales de tensión y compresión de Tinius Olsen*. (n.d.). Retrieved June 1, 2022, from <https://www.tiniusolsen.com/product-category/universal-testing-machines/>
- María, B., Morales, P., Luis, J., & Cuevas, M. (2019). *Studies of the mechanical properties of concrete reinforced with sugar cane bagasse fibers*.
- Mesbah, A., Morel, J. C., Walker, P., & Ghavami, K. (2004). Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(1), 95–98. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:1\(95\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:1(95))

- Meybodan, H., Eslami, A., & Morshed, R. (2020). Sustainable lateral strengthening of traditional adobe walls using natural reinforcements. *Construction and Building Materials*, 260, 119892. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119892>
- Millogo, Y., Morel, J. C., Aubert, J. E., & Ghavami, K. (2014). Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers. *Construction and Building Materials*, 52, 71–78. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.10.094>
- Minke, G. (2005). *Building with Earth: Design and Technology of Sustainable Architecture*. Undefined. https://ia800306.us.archive.org/13/items/Gernot_Minke-Building_With_Earth/Gernot_Minke-Building_With_Earth.pdf
- Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (2001). Building houses with local materials: a means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)
- Morelli, G. V. (2021). *Estudio del calor: termodinámica*. Retrieved January 25, 2022, from https://books.google.com/books/about/Estudio_del_calor_Termodin%C3%A1mica.html?hl=es&id=zNtHzgEACAAJ
- Muelle, J. C. (1978). *Tecnología del barro en el Perú precolombino* (pp. 573–580).
- Mujahid, A., Zaidi, A., Riza, F. V., & Rahman, I. A. (2011). Preliminary Study of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 6–12.
- Muntohar, A. S. (2011). Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4215–4220. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.04.061>
- Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., & Bustamante, M. A. (2020). Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 254, 119314. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119314>

- N. Mexicana. (2012). *Bloques, tabiques o ladrillos tabicones para uso estructural— especificaciones y métodos de ensayo.*
- Ngowi, A. B. (1997). Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. *Construction and Building Materials*, 11(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00006-8)
- OMEGA. (2020). *Usando Sensores de Deformación Mecánica para Materiales No Homogéneos.* <https://es.omega.com/technical-learning/optimizando-el-desempeno-de-sensores-de-deformacion-mecanica.html#nav>
- Osorio Chuquitarco, N. M., & Yáñez Ponce, M. E. (2018). *Obtención de un recubrimiento comestible a base de mucílago de nopal (opuntia spp.) y aceite esencial de romero (rosmarinus officinalis).* <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5445/6/PC-000407.pdf>
- Osorio Saraz, J. A., Varón Aristizábal, F., & Herrera Mejía, J. A. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Dyna*, 74(153), 69-79.
- Oti, J. E., Kinuthia, J. M., & Bai, J. (2009a). Engineering properties of unfired clay masonry bricks. *Engineering Geology*, 107(3–4), 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.05.002>
- Oti, J. E., Kinuthia, J. M., & Bai, J. (2009b). Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks. *Engineering Geology*, 3–4(109), 230–240. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGE0.2009.08.010>
- Oti, J. E., Kinuthia, J. M., & Bai, J. (2015). Developing unfired stabilised building materials in the UK. *Http://Dx.Doi.Org/10.1680/Ensu.2008.161.4.211*, 161(4), 211–218. <https://doi.org/10.1680/ENSU.2008.161.4.211>

- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.10.054>
- Parisi, F., Asprone, D., Fenu, L., & Prota, A. (2015). Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers. *Composite Structures*, 122, 300–307. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2014.11.060>
- Pernaleté, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., & Aiello, C. (2008). Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, 20(1), 3–10. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Piattoni, Q., Quagliarini, E., & Lenci, S. (2011). Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 2067–2075. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.11.039>
- Pinto Barrantes, M., Antonio, R., Mamani, M., & Reynaldo, E. (2020). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL*. <https://orcid.org/0000-0002-8140-1644>
- Pinzón Orjuela, J. L., & Benítez Urrego, A. K. (2018). *Desarrollo de recubrimiento natural (Nopal) para Fachadas en viviendas en adobe de la Candelaria (Bachelor's thesis, Universidad La Gran Colombia)*. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3368/Recubrimientonatural_Fachadasviviendas_AdobeCandelaria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quagliarini, E., & Lenci, S. (2010). The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks. *Journal of Cultural Heritage*, 11(3), 309–314. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2009.11.012>

- Quintanilla Alas, M. E. (2010). *Industrialización de la fibra de estopa de coco*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/157670>
- Ramírez, S. (2008). *Propiedades mecánicas y microestructura de concreto conteniendo mucílago de nopal como aditivo natural*. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/407/SAMUEL%20RAMIREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Raut, A. N., & Gomez, C. P. (2017). Development of thermally efficient fibre-based eco-friendly brick reusing locally available waste materials. *Construction and Building Materials*, 133, 275–284. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.12.055>
- Ravankhah, M., Chmutina, K., Schmidt, M., & Boshier, L. (2017). Integration of Cultural Heritage into Disaster Risk Management: Challenges and Opportunities for Increased Disaster Resilience. *Going Beyond*, 307–321. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57165-2_22
- Real Academia Española. (2022, January 11). *Bagazo*. <https://dle.rae.es/Bagazo>. <https://dle.rae.es/bagazo>
- Reyna Pari, C. A. (2016). *Reutilización de plástico, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo*. <http://200.62.226.189/PuebloContinente/Article/View/1264/1094>.
- Ríos, G. L., & Sánchez, D. G. (2002). Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 8(1), 39.
- Rivera Torres, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164–181. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632012000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Roca Alarcón, G. A., Glauco Sanchez, C., Olivares Gómez, E., & Augusto Barbosa Cortez, L. (2006). *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. parte 1: características físicas*. https://www.researchgate.net/publication/285640480_Caracterizacion_del_Bagazo_de_cana_de_Azucar_Parte_i_Caracteristicas_Fisicas
- Rojas Valencia, M., & Aquino Bolaños, E. (2015). *Eco-ladrillos con base en residuos de construcción*. <http://www.ii.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/Ecoladrillosconbaseenresiduosdeconstruccion.aspx>
- Rojas-Valencia, M. N., & Bolaños, E. A. (2016). Sustainable adobe bricks with construction wastes. *Http://Dx.Doi.Org/10.1680/Jwarm.16.00014*, 169(4), 158–165. <https://doi.org/10.1680/JWARM.16.00014>
- Romero Valencia, S. (2017). *¿Qué es la Zafra? — Salvador Romero Valencia*. <https://www.salvadorromerovalencia.com/noticias/2017/4/17/-qu-es-la-zafra->
- Rueda Rivero, C. (2020). *Construir con la diferencia. Arquitectura para la salud infantil en África Subsahariana*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/42318>
- SA, F. (2011). *Mecánica de Materiales Sexta edición R.C Hibbeler*. Retrieved January 25, 2022, from https://www.academia.edu/40467840/Mec%C3%A1nica_de_Materiales_Sexta_edici%C3%B3n_R_C_Hibbeler
- Salas Humanes, M. (2019). *Estudio histórico, constructivo y planimétrico de la Muralla China: tramo Mutianyu*. <https://idus.us.es/handle/11441/90832>
- Sánchez García, Á. (1999). *Las técnicas constructivas con tierra en la arqueología prerromana del país valenciano*. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/45908>
- Sanchis Mullor, F. J. (2011). *La arquitectura de tierra. Evolución a través de la historia*. <https://riUNET.upv.es/handle/10251/14222>

- Schweigger, E. (2005). *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos - Enrique Schweigger - Google Libros*.
https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=17n1yqXyQQsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Manual+de+pinturas+y+recubrimientos+pl%C3%A1sticos&ots=X8vEO2z6ap&sig=p_Zx8lfuestcBMfMC6xmU3WeBLM&redir_esc=y#v=onepage&q=Manual%20de%20pinturas%20y%20recubrimientos%20pl%C3%A1sticos&f=false
- Serrano, S., Barreneche, C., & Cabeza, L. F. (2016). *Use of by-products as additives in adobe bricks: mechanical properties characterization*.
- Setyo Muntohar, A. (2011). *Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick* - *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811002042>
- Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016a). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141–155.
<https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2016.03.004>
- Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016b). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141–155.
<https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2016.03.004>
- Sharma, V., Vinayak, H. K., & Marwaha, B. M. (2015a). Original Article/Research. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(4), 348–358.
<https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2015.07.002>
- Sharma, V., Vinayak, H. K., & Marwaha, B. M. (2015b). Enhancing compressive strength of soil using natural fibers. *Construction and Building Materials*, 93, 943–949.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.05.065>

- Sheikh, A. Q. (2014). *Brick kilns: Cause of Atmospheric Pollution Carbon sequestration assessment of grassland vegetation View project*. <https://doi.org/10.4172/jpe.1000112>
- Shimadzu. (2015). *Fixed Compression Plates*. .
- Smeu, S. (n.d.). *Environmental Friendly Building Materials: Unfired Clay Bricks*. Retrieved January 20, 2022, from https://www.academia.edu/9952918/Environmental_Friendly_Building_Materials_Unfired_Clay_Bricks
- Soledad Moscoso-Cordero, M. (2010). *EL ADOBE, SUS CARACTERÍSTICAS Y EL CONFORT TÉRMICO*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobe-Moscoso.pdf>
- Sondereguer, C. (2005). *Pirámides y templos de Egipto y América: fundamentos ideológicos ...* - César Sondereguer - Google Libros. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zfkwxH3Rf3cC&oi=fnd&pg=PA42&dq=Pir%C3%A1mides+y+templos+de+Egipto+y+Am%C3%A9rica:+fundamentos+ideol%C3%B3gicos,+morfoproporcionalidad,+cr%C3%ADtica+est%C3%A9tica&ots=KUi8HMoj1O&sig=NvwowSorZMvfubmdDmLv5hl0JeE#v=onepage&q=Pir%C3%A1mides%20y%20templos%20de%20Egipto%20y%20Am%C3%A9rica%3A%20fundamentos%20ideol%C3%B3gicos%2C%20morfoproporcionalidad%2C%20cr%C3%ADtica%20est%C3%A9tica&f=false>
- Subramaniaprasad, C. K., Abraham, B. M., & Kunhanandan Nambiar, E. K. (2015). Influence of Embedded Waste-Plastic Fibers on the Improvement of the Tensile Strength of Stabilized Mud Masonry Blocks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7), 04014203. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001165](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001165)
- Taallah, B., & Guettala, A. (2016a). The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 104, 52–62. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.12.007>

- Taallah, B., & Guettala, A. (2016b). The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 104, 52–62. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.12.007>
- Taallah, B., Guettala, A., Guettala, S., & Kriker, A. (2014). Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 59, 161–168. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.02.058>
- Taylor, P., & Luther, M. B. (2004). Evaluating rammed earth walls: a case study. *Solar Energy*, 76(1–3), 79–84. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2003.08.026>
- Tonnayopas, D. (2013). *Green Building Bricks Made with Clays and Sugar Cane Bagasse Ash*. <https://www.researchgate.net/publication/262840098>
- Torres Agüero, R. V. (2016). *Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de ICA*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60203/Mateo_BA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. de L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129–1142. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342015000500018&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Turanli, L., & Saritas, A. (2011). Strengthening the structural behavior of adobe walls through the use of plaster reinforcement mesh. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1747–1752. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.11.092>

- Universidad de la Punta. (2020). *Propiedades Mecánicas | Educación Tecnológica*.
http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/educaciontecnologia/propiedades_mecnicas.html
- Ureña Aguirre, M. E., & Romero Yanzapanta, A. P. (2020). *Uso de cemento y savia de tuna como alternativas de revestimiento en muros de adobe para el mejoramiento de sus propiedades hidrófugas*. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30645>
- Vargas-Rodríguez, L., Figueroa, G. A., Hernán Herrera Méndez, C., Nieto, A. P., Isabel, M., Vieyra, G., Rubén, J., Núñez, R., Vargas-Rodríguez, L., Figueroa, A., Méndez, H., & Nieto, P. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8–11. <https://doi.org/10.15174/AU.2016.839>
- Vega, P., Juan, A., Ignacio Guerra, M., Morán, J. M., Aguado, P. J., & Llamas, B. (2011). Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain. *Construction and Building Materials*, 7(25), 3020–3023. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.02.003>
- 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>
- Villalobos Ruiz, R. (2014). “*Morteros de cal con mucílago de nopal (opuntia ficus-indica) como aditivo: evaluación de las propiedades mecánicas en base al método de extracción empleado.*”
https://www.academia.edu/download/57269399/Tesis._Rodrigo_Villalobos_Ruiz._2014P.pdf
- Villamizar, M. C. N., Araque, V. S., Reyes, C. A. R., & Silva, R. S. (2012). Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 36, 276–286. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.04.056>

- Vincent Rigassi. (1985). *Compressed earth blocks: Manual of design and construction Vol 2*.
<http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2012/01/04-5793-1.pdf>
- Watson, L., & McCabe, K. (2011). La técnica constructiva del cob. Pasado, presente y futuro. *Informes de La Construcción*, 63(523), 59–70. <https://doi.org/10.3989/IC.10.018>
- Yetgin, Ş., ÇAVDAR, Ö., & Çavdar, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 3(22), 222–227. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2006.08.022>
- Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., & Wu, W. (2016). The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 106, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031>
- Ziegler, S., Leshchinsky, D., Ling, H. I., & Perry, E. B. (1998). Effect of Short Polymeric Fibers on Crack Development in Clays. *Soils and Foundations*, 38(1), 247–253. <https://doi.org/10.3208/SANDF.38.247>