

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

Instituto de Diseño

**DISEÑO DE PANEL CON CÁSCARA DE COCO Y CENIZA DE AGAVE COMO  
ALTERNATIVA DE USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TESIS**

Para obtener el título de:

**INGENIERO EN DISEÑO**

Presenta:

**ELDA VANESSA GARCÍA SILVA**

Director de Tesis:

**DR. HÉCTOR GERARDO CAMPOS SILVA**

Hca. Cd. de Huajuapán de León, Oax., Febrero de 2025



**DEDICATORIA**

*Para †Fernando García Cortés:  
Abrazo tu alma noble, hermano;  
Tu ausencia es insuperable.*



## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Carmen y Adolfo, por la confianza que depositaron en mí para lograr el objetivo; por enseñarme e impulsarme a ser valiente y tenaz ante los sacrificios, a no desistir y alcanzar un beneficio mayor; por la comunicación, los valores y el apoyo que me han brindado al estar presentes en todo momento. A mi hermana Vianney, por ser una razón más para convertirme en un ejemplo a seguir al ser perseverante para cumplir una meta ante la adversidad. Los amo.

A mi pareja, Andrés, por estar presente, ser mi apoyo en todos los aspectos y alentarme a crecer.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca, por el conocimiento y experiencias que me han formado al acogerme durante el proceso de cumplir mi objetivo.

A mi director Dr. Héctor G. Campos Silva por brindarme su tiempo, conocimiento, apoyo y paciencia.

A mis sinodales el Ing. Oscar Díaz de León Sánchez por brindarme su tiempo, conocimiento y valiosos consejos que me guiaron en los avances para concretar la tesis; al Mtro. Víctor Hugo Castellanos García por su tiempo y orientación.

A la Dra. Patricia Gallegos Acevedo, directora del instituto de minería, y al Dr. Juan M. Espinoza Cuadra por su tiempo y por facilitarme el uso del laboratorio.



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I ASPECTOS PRELIMINARES</b> .....	1
<b>1.1 Introducción</b> .....	2
<b>1.2 Estado del arte</b> .....	4
<b>1.3 Planteamiento del problema</b> .....	8
<b>1.4 Justificación</b> .....	12
<b>1.5 Objetivo General</b> .....	13
<b>1.6 Objetivos Específicos y Metas</b> .....	13
<b>1.7 Metodología</b> .....	15
<b>CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL</b> .....	17
<b>2.1 Marco Teórico</b> .....	18
<b>2.1.1 Concreto</b> .....	18
<b>2.1.2 Mortero</b> .....	18
<b>2.1.2.1 Origen y desarrollo</b> .....	18
<b>2.1.2.2 Componentes</b> .....	19
<b>2.1.2.3 Tipos y usos</b> .....	21
<b>2.1.2.4 Propiedades en mortero fresco</b> .....	21
<b>2.1.2.5 Propiedades en mortero endurecido</b> .....	23
<b>2.1.2.6 Características</b> .....	25
<b>2.1.2.7 Ventajas</b> .....	25
<b>2.1.3 Materias orgánicas e industria de la construcción</b> .....	25
<b>2.1.3.1 Diseño desde el punto de vista sustentable</b> .....	25
<b>2.1.3.2 Mortero reforzado con fibras</b> .....	26
<b>2.1.3.3 Mortero con cenizas</b> .....	27
<b>2.1.3.4 Diseño de morteros de cemento Portland</b> .....	28
<b>2.1.4 Fibras</b> .....	29
<b>2.1.4.1 Problemas de las fibras</b> .....	29
<b>2.1.4.2 Aplicaciones</b> .....	30
<b>2.1.5 Coco: origen y dispersión</b> .....	30
<b>2.1.5.1 Uso y aplicación del coco</b> .....	31
<b>2.1.6 Agave: origen y dispersión</b> .....	32
<b>2.1.6.1 Uso y aplicación del agave</b> .....	32

2.1.7 Panel.....	33
2.1.7.1 Panel portante o resistente.....	34
2.1.7.2 Panel autoportante o no resistente .....	34
2.1.7.3 Ventajas.....	34
2.1.7.4 Desventajas .....	35
2.2 Marco Legal.....	35
2.2.1 NMX-C-ONCCEE (Normas Mexicanas – Materiales de Construcción – Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación).....	35
NMX-C-021-ONNCCE-2015 .....	35
NMX-C-061-ONNCCE-2015 .....	36
NMX-C-085-ONNCCE-2015 .....	36
NMX-C-329-ONNCCE-2016 .....	36
NMX-C-405-ONNCCE-2014 .....	36
NMX-C-414-ONNCCE-2017 .....	36
NMX-C-486-ONNCCE-2014 .....	36
2.2.2 N-CMT (Normas Mexicanas – Características de los Materiales).....	37
N-CMT-2-01-004/02 .....	37
2.2.3 ASTM (American Society for Testing and Materials).....	37
ASTM C 91-05 .....	37
ASTM C 109-05.....	37
ASTM C 128-07.....	37
ASTM C 270-07.....	37
ASTM C 618 -19.....	37
<b>CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO.....</b>	<b>38</b>
3.1 Ideación y planeación .....	39
3.1.1 Formas de paneles arquitectónicos .....	39
3.1.2 Dimensiones de paneles arquitectónicos .....	40
3.2 Bocetaje .....	41
3.3 Modelado y presentación .....	44
3.3.1 Recomendación de aplicaciones.....	50
<b>CAPÍTULO IV DESARROLLO.....</b>	<b>52</b>
4.1 Hipótesis.....	53
4.2 Instrumentos y equipo.....	53

<b>4.3 Materiales</b> .....	56
<b>4.4 Ensayo de caracterización: absorción y densidad</b> .....	59
<b>4.5 Diseño de mezcla de mortero con PCC y con CBA</b> .....	61
<b>4.6 Elaboración de mezcla</b> .....	61
<b>4.7 Ensayo de resistencia a compresión</b> .....	68
<b>4.8 Elaboración del panel</b> .....	70
<b>4.8.1 Molde</b> .....	70
<b>4.8.2 Vaciado y desmolde</b> .....	72
<b>CAPÍTULO V REPORTE DE RESULTADOS</b> .....	74
<b>5.1 Caracterización fisicoquímica del PCC y de la CBA</b> .....	75
<b>5.2 Trabajabilidad</b> .....	78
<b>5.3 Resistencia a compresión</b> .....	79
<b>5.4 Verificación de hipótesis</b> .....	83
<b>5.5 Encuesta de diseño</b> .....	84
<b>CONCLUSIONES</b> .....	86
<b>INVESTIGACIONES FUTURAS</b> .....	87
<b>ANEXOS</b> .....	88
<b>REFERENCIAS</b> .....	102
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Desechos de cáscaras de coco.....	8
<b>Figura 2</b> Desechos de bagazo de agave.....	9
<b>Figura 3</b> Contaminación de bagazo de agave.....	10
<b>Figura 4</b> Diagrama metodológico.....	15
<b>Figura 5</b> Retracción plástica.....	22
<b>Figura 6</b> Retracción de secado.....	24
<b>Figura 7</b> Retracción térmica.....	24
<b>Figura 8</b> Formas de paneles.....	39
<b>Figura 9</b> Planos de vista y medidas del panel.....	40
<b>Figura 10</b> Boceto 1, palmera.....	41
<b>Figura 11</b> Boceto 2, coco.....	42
<b>Figura 12</b> Boceto 3, agave.....	43
<b>Figura 13</b> Extrusión.....	44
<b>Figura 14</b> Trazo de diseño.....	45
<b>Figura 15</b> Diseño del panel.....	45
<b>Figura 16</b> Modelo 1.....	46
<b>Figura 17</b> Modelo 2.....	47
<b>Figura 18</b> Proceso de modelo 2.....	47
<b>Figura 19</b> Proceso de modelo 3.....	48
<b>Figura 20</b> Modelo 3.....	48
<b>Figura 21</b> Detalle de machihembrado.....	49
<b>Figura 22</b> Render uso de paneles.....	50
<b>Figura 23</b> Render interior.....	51
<b>Figura 24</b> Render exterior.....	51
<b>Figura 25</b> Maquinaria.....	53
<b>Figura 26</b> Instrumentos de laboratorio.....	54
<b>Figura 27</b> Moldes y tamices.....	54
<b>Figura 28</b> Material de apoyo.....	54
<b>Figura 29</b> Herramientas adicionales.....	55
<b>Figura 30</b> Materiales.....	56
<b>Figura 31</b> Acondicionamiento de las cáscaras de coco.....	57
<b>Figura 32</b> Proceso de tamizado.....	57
<b>Figura 33</b> Acondicionamiento del bagazo de agave.....	58
<b>Figura 34</b> Ceniza.....	58
<b>Figura 35</b> Ensayo de caracterización de la PCC.....	60
<b>Figura 36</b> Ensayo de caracterización del CBA.....	60
<b>Figura 37</b> Reposo y escurrimiento.....	64
<b>Figura 38</b> Acondicionamiento de la arena.....	65
<b>Figura 39</b> Molde habilitado.....	65
<b>Figura 40</b> Peso de las materias.....	66
<b>Figura 41</b> Área de trabajo.....	66
<b>Figura 42</b> Vaciado de mezcla.....	67

<b>Figura 43</b> Desmolde.....	68
<b>Figura 44</b> Proceso de ensayo a compresión.....	69
<b>Figura 45</b> Piezas del molde. ....	70
<b>Figura 46</b> Molde armable. ....	71
<b>Figura 47</b> Molde cubierto de aceite. ....	71
<b>Figura 48</b> Desmolde del panel (1).....	72
<b>Figura 49</b> Desmolde del panel (2). ....	73
<b>Figura 50</b> Panel.....	73
<b>Figura 51</b> Trabajabilidad PCC. ....	78
<b>Figura 52</b> Trabajabilidad CBA. ....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Objetivos específicos y metas.....	13
<b>Tabla 2</b> Cierre de producción agrícola.....	31
<b>Tabla 3</b> Diseño de mezclas CP100, CBA y PCC, peso por metro cúbico.....	61
<b>Tabla 4</b> Variable independiente: PCC.....	62
<b>Tabla 5</b> Variable independiente: CBA.....	63
<b>Tabla 6</b> Variable dependiente: Resistencia a compresión.....	63
<b>Tabla 7</b> Plan de recolección de datos para ensayo de resistencia a compresión.....	68
<b>Tabla 8</b> Diseño de mezcla, peso por metro cúbico.....	70
<b>Tabla 9</b> Principales características físicas del PCC y de la CBA.....	75
<b>Tabla 10</b> Caracterización química de la CBA.....	76
<b>Tabla 11</b> Pérdida por ignición.....	76
<b>Tabla 12</b> Caracterización química del PCC, madera y bagazo de agave.....	77
<b>Tabla 13</b> Matriz de resultados de probetas con CBA.....	80
<b>Tabla 14</b> Matriz de resultados de las probetas con PCC.....	81
<b>Tabla 15</b> Variación de pesos.....	81
<b>Tabla 16</b> Resistencia a compresión de morteros.....	83
<b>Tabla 17</b> Caracterización PCC.....	88
<b>Tabla 18</b> Caracterización de CBA.....	88
<b>Tabla 19</b> Matriz de resultados de las probetas CP100.....	89
<b>Tabla 20</b> Matriz de resultados de las probetas CBA10.....	89
<b>Tabla 21</b> Matriz de resultados de las probetas CBA20.....	90
<b>Tabla 22</b> Matriz de resultados de las probetas CBA30.....	90
<b>Tabla 23</b> Matriz de resultados de las probetas PCC1.....	91
<b>Tabla 24</b> Matriz de resultados de las probetas PCC2.....	91
<b>Tabla 25</b> Matriz de resultados de las probetas PCC3.....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1</b> Resultados de las probetas con CBA.....	80
<b>Gráfica 2</b> Resultados de las probetas con PCC.....	82
<b>Gráfica 3</b> Variación de pesos. ....	82
<b>Gráfica 4</b> Puntuación. ....	84
<b>Gráfica 5</b> Característica importante.....	85
<b>Gráfica 6</b> Panel a elaborar.....	85



## RESUMEN

Tomando en cuenta la problemática ambiental generada por los desechos de cáscaras de coco en muchas zonas costeras del estado de Oaxaca, en el presente proyecto de investigación se buscó emplear este material en la industria de la construcción; es así como el proyecto utiliza cáscaras de coco en polvo y cenizas de bagazo de agave, mismas que también tienen un problema ambiental en las zonas de valles centrales, para ser adicionados al mortero de tal manera que permita desarrollar un panel como alternativa de uso en la industria de la construcción, para lo cual se presentan tres propuestas de diseño de paneles.

A fin de identificar la relación óptima del cemento con ambas materias orgánicas para elaborar el mortero, se evalúa el comportamiento mecánico del diseño de mezclas basadas en cemento Portland empleando tres diferentes porcentajes de sustitución parcial, tanto de polvo de cáscaras de coco (PCC) en la arena, como de cenizas de bagazo de agave (CBA) en el cemento. A su vez el proyecto va de la mano con la sustentabilidad para obtener un producto que ayude a la disminución de contaminación por CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), el cual es producido en grandes cantidades por la elaboración de los cementos.

Se demuestra que, a los 28 días de edad, el PCC a una sustitución parcial del 1% en la arena aporta una resistencia a compresión de 12.5 Mpa y una reducción en peso del 14%.



# **CAPÍTULO I** ASPECTOS PRELIMINARES



## 1.1 Introducción

En México, sobre todo en el estado de Oaxaca, tanto las cáscaras de coco se encuentran entre los residuos sólidos orgánicos más abundantes, como también el bagazo de agave son desechos difícilmente reutilizados, por lo que son depositados en lugares cercanos a su producción, a las afueras de la población o incluso dentro de ellas, contaminando al medio ambiente.

La cáscara de coco (*Cocos Nucifera L.*), de cuatro a cinco centímetros de espesor conformada por la cubierta externa (exocarpo o epicarpio), una capa intermedia fibrosa (mesocarpio) y una más dura (endocarpio), es un deshecho sin posibilidad de reutilización, que a diferencia del papel o el polvo de aserrín no tiene un mercado de reciclaje, se vislumbra como un recurso orgánico de fácil producción, bajo costo, disponible y basado en estudios se ha demostrado que las fibras de la cáscara de coco son aptas para su desempeño en la construcción. Tiene características físicas apropiadas para preparar sustratos alternativos por su elevada estabilidad, alta capacidad de retención de agua y baja densidad aparente (Soto, 2003).

Las cenizas de agave son generadas por el residuo sólido de bagazo, el cual es producido posterior al proceso de cocimiento, molienda, fermentación y destilación que se requiere para obtener el mezcal, mismo que es un producto agroindustrial de importancia en México. La CBA presenta propiedades puzolánicas, es decir, es un material silíceo o silicoaluminico que no tienen propiedades cementantes por sí mismos, pero que son capaces de reaccionar con cal a temperatura ambiente en presencia de agua, estando finamente divididos, para formar compuestos insolubles con propiedades cementantes (Lea, 1970).

El mortero, al igual que el concreto, es el material más utilizado en la construcción, por la aparente poca necesidad de mantenimiento, y la N-CMT-2-01-004/02 define a los morteros como mezclas plásticas aglomerantes que resultan de combinar arena y agua con uno o dos materiales cementantes, que pueden ser cemento Portland, cemento Portland y cal, cemento Portland y cemento de albañilería (cementante premezclado que contiene cemento Portland, cal y aditivos plastificadores) (Características de los Materiales [CMT], 2002).

Las investigaciones en lo que respecta a las construcciones de mortero y concreto, son centradas en el desarrollo de nuevos materiales, siendo posible alcanzar de esta manera nuevos objetivos en los cuales está presente un factor importante para su ejecución: el curado (Garín et al., 2012); entendiéndose, según Fernández (2009), como a la acción de proveer las condiciones adecuadas de hidratación y temperatura para el desarrollo de las propiedades, basado en su composición y en sus características. El curado es una variable para lograr altas resistencias, obliga a tener baja relación agua/cemento, aunque, el bajar la relación agua/cemento provoca una pérdida en la trabajabilidad, es decir, la facilidad para colocar la mezcla en el sitio, adicionado a problemas de durabilidad a los mismos debidos a la retracción autógena (auto desecación interna de los cementos), de acuerdo con Vélez (2016) se entiende como el cambio volumétrico una vez iniciado su proceso de fraguado, es decir, cuando el material empieza a endurecer.

Los paneles prefabricados han sido diseñados para agilizar y facilitar el proceso de construcción, a causa de su diseño modular y capacidad de adaptarse a una variedad de necesidades constructivas su uso puede ir desde techos y paredes hasta suelos y sistemas estructurales complejos, son la respuesta a la demanda actual de métodos de construcción más eficiente y sostenible, dado que su función es simplificar y acelerar la instalación en comparación con otros métodos de construcción tradicionales.

Este estudio tiene por objeto, como aporte de Ingeniero en Diseño, desarrollar el diseño de un panel, optimizando la utilización de los desechos de las cáscaras de coco y del bagazo de agave en el mortero, planteando dar una nueva oportunidad de uso a estos dos desechos, generando de esta manera un valor agregado, evitando la contaminación en el ambiente; asimismo se evalúa el valor de la resistencia a compresión.

## 1.2 Estado del arte

En la búsqueda bibliográfica sobre el uso de fibras de cáscara de coco y ceniza de bagazo de agave en el mortero y en el área de la construcción, se revisaron diversas fuentes de información. En particular se identificaron estudios como los de Prakash et al. (2020), Muñoz, (2017), Society for Experimental Biology (2016), López y Castro (2010), Méndez (2008), Quintero y González (2006), los cuales formaron parte del análisis inicial.

Sin embargo, para fines de este apartado, se destacan y analizan en mayor profundidad los estudios más recientes que aportan información relevante al tema, entre ellos:

“Un estudio sobre la mejora del rendimiento de morteros a base de cemento con humo de sílice, metacaolín y fibras de coco” publicado por Nawab et al. (2023), donde se menciona que el mortero de cemento es la opción principal para la construcción debido a su uso generalizado. Sin embargo, determinadas aplicaciones exigen mortero de cemento de altas prestaciones, es decir, un tipo de mortero mejorado que ofrece propiedades superiores como mayor resistencia mecánica, durabilidad frente a condiciones adversas y una mejor adherencia. En este estudio se explora el uso de productos de desecho agrícola, subproductos industriales y arcilla caolinita natural como aditivos potenciales en el cemento compuesto. Tiene como objetivo evaluar los atributos físicos y mecánicos de estos materiales para determinar su eficacia para elevar el rendimiento del cemento. Para ello, reemplazan el 20% del cemento en el composite con humo de sílice y metacaolín, siguiendo una fracción de diseño de mezcla precisa de 1:1 (materiales aglutinantes: arena) para los composites de mortero. Identifican la combinación óptima de metacaolín y humo de sílice mediante experimentación sistemática que maximiza la resistencia a la compresión. Posteriormente, introducen varias proporciones de fibras de coco (del 3% al 15% en peso) en el compuesto para mejorar sus capacidades de soporte estructural y calibran la proporción de agua y material aglutinante (que oscila entre 0,35 y 0,6) para mantener la trabajabilidad de las mezclas de cemento. Someten los compuestos al curado durante 7, 14 y 28 días, respectivamente, para observar el desempeño a lo largo del tiempo. Se encontró que la mezcla más eficaz para lograr la mayor resistencia a la compresión (75,3 MPa) en mortero de cemento simple era una

combinación de 10% de humo de sílice y 10% de metacaolín, las mejores propiedades mecánicas se observaron con un contenido de fibra de coco del 6% arrojando una resistencia a la compresión de 78,6 MPa y un módulo de ruptura de 16,7 MPa. El aumento del contenido de fibra en los compuestos condujo a una reducción de la densidad. Estos hallazgos muestran el potencial de esta composición compuesta específica como una alternativa sostenible y consciente del medio ambiente para mejorar el rendimiento del cemento en aplicaciones de construcción, promoviendo prácticas de construcción ecológicas al aprovechar la fuerza de los materiales derivados de desechos y los recursos naturales, apoyando un enfoque más sostenible y resiliente para el desarrollo de infraestructura (Nawab et al., 2023).

La investigación “Utilización de la cáscara de coco como material cementicio suplementario en el concreto” Zarina et al. (2022), determina el porcentaje adecuado de reemplazo parcial de ceniza de cáscara de coco por cemento en concreto. También se abordan las características de la materia y su comportamiento fresco y endurecido en cemento y concreto, realizando prueba de asentamiento, prueba de resistencia a la compresión, prueba de consistencia y prueba de finura, en un período de 45 días. La proporción de cemento a agregados totales secos empleada fue 1:1, 9:3, que fue adecuada para un concreto trabajable, tomándola de otro artículo que utilizó ceniza de hoja de plátano en un diseño de concreto. El reemplazo de cemento Portland por ceniza de cáscara de coco fue en porcentajes de 5%, 10% y 15% en peso aglutinante. A partir de los resultados, se encontró que el 5% de ceniza de cáscara de coco como reemplazo parcial del cemento produce los mejores efectos, mostrando que la resistencia del concreto disminuirá cuando se agregue más porcentaje de ceniza de cáscara de coco a la mezcla de concreto (Zarina et al., 2022).

Dentro del proyecto “Ductilidad y comportamiento al agrietamiento de vigas de concreto reforzado con cáscara de coco incorporadas con ceniza de cáscara de coco” Trokon et al. (2022), investiga el comportamiento de flexión, ductilidad, cortante, deformación y agrietamiento de cuatro vigas de concreto armado hechas a partir de la incorporación de una cantidad mínima de partículas de cáscara de coco sin tratar (CCP) en sustitución al 5% de agregado grueso (AG), modificado con ceniza de cáscara de coco (CCC) al 10% de sustitución

del cemento Portland ordinario (CPO). Al momento de realizar pruebas de flexión en las vigas modificadas denotadas como FBM (Flexion Beams Modified), la relación de ductilidad de las vigas de concreto con 10% de CCC y 5% de CCP mejoró en un 8,8% en comparación con las vigas de control denotadas como FBC (Flexion Beams Control). La mejora dúctil se observó con una disminución del 17,3% en la carga de flexión para demostrar esta ganancia en ductilidad. La capacidad de corte de las vigas de concreto reforzado con 10% CCC y 5% CCP mejoró en comparación con la literatura de referencia en el estudio. Finalmente, se descubrió que la combinación de 10% de CCC y 5% de CCP en vigas de concreto reforzado puede mejorar la ductilidad sin reducir significativamente la carga de falla última (Trokon et al., 2022).

“Influencia de las cenizas de combustible de aceite de palma en el concreto y una comparación sistemática con las cenizas volantes y la escoria ampliamente aceptadas: un paso hacia la reutilización sostenible de las cenizas de residuos agrícolas” Bahurudeen et al. (2022), demuestra que la utilización de cenizas, de residuos agrícolas disponibles localmente, en el concreto es una alternativa sustentable para la producción de cemento la cual es intensiva en carbono. Se enfoca en una comparación crítica de las características frescas, endurecidas y de durabilidad entre el concreto mezclado con cenizas de combustible de aceite de palma (CCAP) con concretos mezclados a base de cenizas volantes o escoria que son ampliamente aceptados. La adición de cenizas volantes y CCAP mejora la trabajabilidad del concreto, mientras que la adición de escoria la reduce. A un nivel de reemplazo del 60%, el concreto mezclado con CCAP exhibió un aumento en el valor de asentamiento del 21% en comparación con el concreto de control. Las tres puzolanas exhibieron menor resistencia inicial debido a su menor velocidad de reacción. Los niveles óptimos de sustitución de CCAP en el concreto son del 10%, mientras que para las cenizas volantes y escoria son 30% y 40%, respectivamente. Para un nivel de reemplazo constante (20%), la reducción en la absorción de agua en comparación con el concreto de control fue de 26,5%, 26,7% y 26,2% para el concreto mezclado con CCAP, cenizas volantes y escoria, respectivamente (Bahurudeen et al., 2022).

La investigación “Pequeño efecto de adición de cenizas de biomasa de agave en morteros de cemento” González et al. (2015), se analizaron las características de residuos de agave salmiana

para que sirvieran de base para posibles futuras aplicaciones en materiales de construcción. Los resultados indican que las cenizas son principalmente  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio) cuando se calcinan por debajo de  $700^\circ\text{C}$ , y  $\text{CaO}$  (óxido de calcio) por encima de esta temperatura. El tamaño aparente de partícula estuvo entre 25 y  $32\ \mu\text{m}$ . Sin embargo, se observa que se compone de partículas mucho más pequeñas de aproximadamente 300 nm. Esta reducción de tamaño está relacionada con la descomposición a temperaturas más altas y se refleja en el aumento del área específica hasta en un 70%. La resistencia a la compresión a edades tempranas fue hasta un 90% mayor que una referencia, cuando se realizaron mezclas de reemplazo de cemento al 5% (González et al., 2015).

“Durabilidad de las fibras de coco y sisal sensibles a los álcalis en compuestos de mortero de cemento” Romildo et al. (2000), expone que durante las últimas décadas se ha dedicado un esfuerzo considerable a la aplicación de fibras vegetales como material de refuerzo para la producción de componentes de construcción con espesores de hasta 20 mm en combinación con mortero de cemento, siendo el principal objetivo encontrar un sustituto de los productos de fibrocemento. Trata sobre la evaluación de la durabilidad de las fibras de sisal (fibra obtenida del agave sisalana) y coco expuestas a soluciones alcalinas de hidróxido de calcio e hidróxido de sodio. Además, presenta la microestructura y durabilidad de los composites de mortero de cemento reforzados con estas fibras envejecidos bajo agua corriente, expuestos a ciclos controlados de humectación y secado, así como a la intemperie al aire libre. Se descubrió que las fibras de sisal y coco mantenidas en una solución de hidróxido de calcio con un pH de 12 perdieron completamente su flexibilidad y resistencia después de 300 días. Los compuestos fabricados con fibras cortas de sisal o coco y matriz de cemento Portland ordinario presentaron una reducción significativa de su tenacidad luego de seis meses de exposición a la intemperie al aire libre o luego de ser sometidos a ciclos de humectación y secado. La fragilización de los composites puede estar asociada principalmente a la cristalización de cal en el lumen, que es el canal interno o espacio hueco presente en el centro de las fibras así como en las paredes y otros vacíos de estas (Romildo et al., 2000).

### 1.3 Planteamiento del problema

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2010) menciona que las industrias ayudan potencialmente a la economía de los lugares en donde se ubican las empresas productoras, a pesar de ello, el problema es que consumen y explotan los recursos naturales con los que se cuentan y los desechos que se generan de este proceso, también contribuyen a la contaminación del ambiente.

La problemática existente en la zona costera del Estado de Oaxaca es los residuos del coco, se tienen sembradíos y/o huertos de palmeras de los cuales al cumplir su función de producción de fruta, venta y consumo de la misma se derivan los desechos de cáscaras de coco, éstos tienden a generarse como basura común y se encuentran en las afueras de la población dedicada a la producción de la fruta, dentro de las mismas huertas e incluso en las orillas de alguna playa, lo que ocasiona un efecto negativo por parte de la sociedad al entorno, además de que las cáscaras de coco son tirados en la calle ocasionando taponamiento de alcantarillas o es usado para encender fogatas, así como también a ser quemado junto a la basura común, contaminando el aire y creando focos de incendio puesto que este material puede ser usado en diversas áreas.

**Figura 1** *Desechos de cáscaras de coco.*



*Nota.* Desechos de cáscaras de coco expuestos en las calles de la población de Stgo. Pinotepa Nacional, Oax., Fuente: Propia (2022).

En ciertas zonas, dichos desechos del coco pasan a ser hacinados por los pobladores en un espacio del lugar en donde se encuentren, al estar expuestos directamente bajo la luz del sol proceden a secarse, llegando al estado de descomposición total sin que alguien esté a cargo de la limpieza de dicha zona. Se registra que anualmente se producen 12,75 toneladas de desechos de la planta de coco (Macancela y Martínez, 2020). Según Rosa et al. (2001) del 80% al 85% del peso bruto del coco se considera basura. Las cáscaras de coco son un problema importante para el servicio público de basura en muchas ciudades, debido a la gran cantidad de material orgánico y su lento proceso de descomposición, demorando 8 años en descomponerse (Alves et al., 2002). Lo que denota que es perceptible la existencia del residuo de la materia orgánica, en especial en las zonas costeras donde localidades se dedican a la producción del coco.

La problemática siguiente es relacionada con Bautista y Mascha (2012) quienes indican que Oaxaca, por sus propias características agroclimáticas, favorece la producción de agave. La importancia de la industria del mezcal en Oaxaca radica en la generación de empleos, ya que éstos se localizan en zonas marginadas, dando oportunidad de ingresos económicos a pequeños productores (Consejo Regulador del Mezcal [CRM], 2015).

**Figura 2** *Desechos de bagazo de agave.*

*Nota.* Desechos de bagazo de agave dentro del palenque de mezcal en Stgo. Matatlán, Oax., Fuente: Propia (2022).

No obstante, una vez que los agaves pasan por el proceso de obtención del mezcal, producen gran cantidad de bagazo de agave, mismos que se quema para reducir su volumen, de esta manera se deriva un subproducto en forma de cenizas residuales. En ese sentido, la investigación de Chávez et al. (2010) indica que por cada litro de mezcal producido aproximadamente se generan 1.5 kg de cenizas que se convierten en un problema. Se considera que el 40% del peso total del agave consumido corresponde al bagazo residual, por lo que se generan grandes volúmenes de este desecho y su disposición se ha vuelto un problema ambiental y económico (González et al., 2005).

Buscando deshacerse de la acumulación de bagazo de agave, se tiende a ser regado sobre los cultivos de agave, dándoles el uso de abono natural, pero además es tirado en los ríos, en las calles de la población productora, contaminando de esta manera el ambiente, suele ser vendido a bajo costo, o bien, a ser enterrado o incinerado.

**Figura 3** *Contaminación de bagazo de agave.*



*Nota.* La figura muestra los desechos de bagazo de agave expuestos en un río y en las calles, en la población de Stgo. Matatlán, Oax., Fuente: Propia (2022).

Para dimensionar la situación en el año 2014 la industria tequilera generó aproximadamente 240 mil toneladas de bagazo, lo que equivale aproximadamente a 20 días de la generación de residuos de la zona metropolitana de Guadalajara (Ramos, 2017).

Por otra parte, la obtención de cemento para fabricar mortero y concreto implica un alto consumo energético y grandes emisiones de gases, por consiguiente, lo convierte en un material costoso y contaminante (Hendriks et al., 1999). La producción anual de cemento global ha llegado a 2,8 mil millones de toneladas, y se espera que aumente a unos 4 mil millones de toneladas por año (Habert, 2013) siendo ésta la industria responsable de que en 2016 la producción mundial de cemento generara alrededor de 2,200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, resultado equivalente al 8% del total mundial, según el centro de estudios británico Chatham House, resulta que el sector necesita métodos de reducción de CO<sub>2</sub>. (Rodgers, 2018).

#### **1.4 Justificación**

La construcción constituye una de las actividades productivas más sustanciales del mundo, representando más del 10% del producto bruto global. A su relevancia como fuente económica, se le suma el impacto social y el aporte como prueba fehaciente de la evolución del hombre y de la satisfacción de una de sus necesidades primarias. Este, escudado en el avance científico y tecnológico ha venido transformando el espacio geográfico mediante la práctica de actividades económicas de producción para explotar y transformar los recursos naturales, dando como resultado alteraciones desmedidas en la naturaleza, desencadenando consecuencias irreparables en los ecosistemas (Maury, 2010).

Centrados en ese marco, desde el punto de vista ambiental, el presente proyecto de investigación se enfoca en el análisis de la cáscara de coco y ceniza de bagazo de agave para el desarrollo de diseño de un panel, en el cual al poder reducir los porcentajes de cemento para su fabricación se vea reducido el impacto de CO<sub>2</sub> que se origina a raíz de la producción del cemento, brindando aporte informativo, conclusiones basadas en la recopilación de datos, y presentando un modelo final del diseño del panel, respondiendo así a un problema común y constante en el área de la construcción, alcanzando un cambio tanto en el diseño como en la puesta en obra del mortero, modificando los costos del proyecto.

Se opta por la utilización de la cáscara de coco, debido a que es un material orgánico económico que se tiene a disposición en la zona costera del estado de Oaxaca, mismo que no tiene un mercado de reciclaje y fundado en las investigaciones realizadas en torno al uso de las fibras del coco en el mortero, como las descritas dentro del apartado de estado del arte, los resultados que se han obtenido en cuanto a las propiedades que le asignan han sido favorables.

De modo similar, se ha optado por emplear la ceniza de bagazo de agave ya que, el alto consumo de mezcal conlleva a una mayor producción incrementando la cantidad de bagazo de agave, mismo que es sometido a fuego produciendo cenizas, resultando difícil el deshacerse de ellas, y que al igual que las fibras de la cáscara de coco, basado en investigaciones alrededor de las puzolanas se han obtenido efectos propicios. Y dado que dentro del sector de la construcción el uso de los paneles prefabricados se ha visto relevante, debido a que permiten

un levantamiento ágil y eficiente, se tiene un ahorro tanto de dinero como de tiempo, además, una menor cantidad de desperdicio generado, por tanto, se elige emplear ambos desechos en la elaboración de un mortero para la fabricación de un panel.

### 1.5 Objetivo General

Experimentar con la cáscara de coco y ceniza de agave a través del método cuantitativo del Dr. Roberto Hernández Sampieri (2014) para el diseño de un panel en la construcción.

### 1.6 Objetivos Específicos y Metas

Tabla 1 *Objetivos específicos y metas.*

Objetivo específico	Metas
Desarrollar investigación de gabinete, recopilando, analizando y clasificando información referente a la cáscara de coco y al bagazo de agave.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de investigación.</li> <li>• Informe de marco referencial.</li> </ul>
Realizar investigación de campo mediante la observación directa, identificando la problemática del deshecho de la cáscara de coco y del bagazo de agave.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotografías.</li> <li>• Informe de diagnóstico.</li> </ul>
Caracterizar físicamente el polvo de cáscara de coco y la ceniza de bagazo de agave: densidad, absorción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de datos obtenidos mediante investigación de gabinete.</li> <li>• Reporte de datos obtenidos mediante valoración propia.</li> </ul>
Caracterizar químicamente el polvo de cáscara de coco y la ceniza de bagazo de agave.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de datos obtenidos mediante investigación de gabinete.</li> </ul>
Desarrollar experimentación de contenido de cáscara de coco y de ceniza de agave en mortero a través de la metodología de Roberto Hernández Sampieri (2014).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener materiales necesarios: materia prima y equipo.</li> <li>• Elaborar mezclas.</li> </ul>
Evaluar el efecto que tienen las mezclas en la resistencia del concreto a partir del ensayo a compresión durante el periodo de progresión en estado endurecido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener materiales y equipamiento necesarios.</li> <li>• Reporte de evaluación.</li> </ul>

---

<b>Establecer la factibilidad para el diseño y fabricación de un panel.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deducir el contenido adecuado de polvo de cáscara de coco y ceniza de bagazo de agave en el mortero.</li><li>• Idear y planear un panel, realizando bocetos burdos y comprensivos.</li><li>• Elaborar modelo de panel factible para la construcción.</li></ul>
<b>Realizar presentación de evaluación.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presentación visual.</li><li>• Presentación formal académica.</li><li>• Reporte de resultados obtenidos del proyecto.</li></ul>

---

*Nota.* Se exponen cada uno de los objetivos específicos con sus metas. Fuente: Propia (2022).

## 1.7 Metodología

Basado en las cuatro principales etapas del método científico, la metodología clásica del diseño de los arquitectos Don Koberg y Jim Bagnall (1972), y la metodología cuantitativa del Dr. Roberto Hernández Sampieri, quien precisa el enfoque cuantitativo como un conjunto de procesos, siendo secuencial y probatorio. (Hernández, 2014), se complementa y emplea la siguiente metodología:

**Figura 4** Diagrama metodológico.





*Nota.* Información recuperada de: Don Koberg y Jim Bagnall (1972). The universal traveller, y Hernández Sampieri Roberto (2014). Metodología de la investigación. Fuente: Propia (2023).



# **CAPÍTULO II** MARCO REFERENCIAL



## **2.1 Marco Teórico**

### **2.1.1 Concreto**

Abanto (2009) define al concreto como una mezcla de cemento Portland, agregado fino (arena), agregado grueso (grava, piedra chancada, confitillo, escoria de hornos), y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, donde el cemento y agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Se puede añadir sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

Las operaciones en la producción del concreto varían de acuerdo con el género de la obra que lo requiere y con el tipo de concreto que se produzcan. Las principales etapas para la producción de un buen concreto son:

1. Dosificación.
2. Mezclado.
3. Transporte.
4. Colocación.
5. Consolidación.
6. Curado.

### **2.1.2 Mortero**

Sánchez de Guzmán (2001) define al mortero como la mezcla de un material aglutinante (cemento Portland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena) agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto.

#### **2.1.2.1 Origen y desarrollo**

El origen de los morteros está ligado al de los conglomerantes (material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformaciones químicas en su masa), éstos forman parte importante en la composición del

mortero, cuando al norte de Chile, hace 5000 años, aparecen las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos, como las cenizas, mezclados con caliza y arena producían un mortero capaz de resistir la acción del agua dulce o salada. Estas cenizas se encontraron en un lugar llamado Puteoli, actualmente conocido como Puzzuoli, de ahí proviene el nombre “cemento de puzolana”. Hasta el siglo XVIII solo se utilizaron morteros de cal, yeso y materiales puzolánicos.

En 1750 - 1800 se investigan mezclas calcinadas de arcilla y caliza. En el siglo XIX, Vicat realiza una serie de investigaciones que describen el comportamiento hidráulico de dichas mezclas, y en 1818 propuso el sistema de fabricación que se emplea en la actualidad.

En 1824, James Parker y Joseph Aspdin patentan el cemento Portland dando ese nombre por el color y dureza de las piedras de Portland, materia que obtuvieron de la calcinación de una caliza arcillosa.

Desde finales del siglo XIX se perfecciona el proceso de fabricación el cual desencadena la fabricación de los actuales cementos Portland, material ligado a la producción de morteros.

### **2.1.2.2 Componentes**

- Conglomerantes: son productos artificiales inorgánicos y minerales, se obtienen a partir de materias primas naturales y de subproductos industriales, se distinguen dos tipos:
  1. Cales: se usan para mejorar la plasticidad del mortero y aclarar su color, pueden ser:
    - Cal aérea hidratada (apagada): endurece con el aire, primero fragua por cristalización del hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , y luego endurece al carbonatarse los cristales por acción del  $\text{CO}_2$ . El proceso es lento y el producto es poco resistente a la acción del agua.
    - Cal hidráulica: fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación. El proceso es más rápido y el producto es mecánicamente resistente y estable tanto al aire como al agua.

2. Cementos: los más empleados en la construcción, están formados por mezclas de caliza, arcilla y yeso, pueden ser:
  - Cemento común.
  - Cemento blanco.
  - Cemento resistente a sulfatos.
  - Cemento resistente al agua de mar.
- Áridos: son materiales granulares inorgánicos de tamaño variable. Es un material inerte, ya que no actúa químicamente frente a los otros componentes o a agentes externos, pero conforman la mayor parte del volumen total del mortero, se distinguen tres tipos:
  1. Naturales: procedentes de yacimientos minerales obtenidos por procedimientos mecánicos, están constituidos por los grupos siguientes:
    - Áridos granulares: obtenidos de graveras que explotan depósitos granulares, tienen forma redondeada con superficies lisas y sin aristas, denominados áridos rodados, principalmente son áridos de naturaleza silícea.
    - Áridos de machaqueo: procedentes de canteras tras arrancar el material de los macizos rocosos y someterlos a trituración, tienen superficies rugosas y aristas vivas, principalmente son áridos de naturaleza caliza.
  2. Artificiales: constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, resultantes de una modificación térmica u otras, son las escorias siderúrgicas (tratamiento del hierro), cenizas volantes de la combustión de carbón, etc.
  3. Reciclados: resultantes del tratamiento del material inorgánicos que se ha utilizado en la construcción, como pueden ser los procedentes del derribo de edificaciones, estructuras de firmes, etc.
- Aditivos: sustancias o materiales añadidos antes o durante la mezcla, su proporción no supera el 5% en masa del contenido de cemento, aporta al mortero, tanto en estado fresco como en estado endurecido, determinadas modificaciones con carácter permanente, como la adherencia, el contenido en aire, la reología en estado fresco, el tiempo de fraguado y/o

endurecimiento, minimizar la absorción o aumentar la retención de agua, el color y textura.

- Adiciones: materiales inorgánicos que se pueden emplear en la fabricación de morteros con el fin de mejorar ciertas propiedades o conseguir propiedades especiales, como lo es la puzolana, las cenizas volantes, escorias, etc.
- Agua: debe ser de naturaleza inocua, sin ningún agente que altere las propiedades del mortero como pueden ser los sulfatos, cloruros, etc.

### **2.1.2.3 Tipos y usos**

De acuerdo con los materiales que componen al mortero, se encuentran los siguientes tipos:

- Morteros calcáreos: es el más manejable, sin embargo, no produce altas resistencias debido a su baja velocidad de endurecimiento. Las calés aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal dolomítica (cal gris). En este caso el objetivo de la arena es evitar el agrietamiento y contracción del mortero. Su uso es limitado en embellecimiento de interiores.
- Morteros de cal y cemento Portland: posee gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales. Es útil en las obras de mampostería estructural como mortero de pega y mortero de relleno.
- Morteros de cemento: cuando se requiere alta resistencia inicial o resistencia elevada una vez que el mortero haya endurecido. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la proporción cemento/arena utilizada. Se emplea para soportar cargas a compresión o resistencia a la abrasión, mantener los elementos en la posición deseada, revoques y revestimientos, relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos.

### **2.1.2.4 Propiedades en mortero fresco**

Rodríguez (2003) hace mención que esta etapa responde a la fase del mortero una vez mezclado y amasado, cuando es plástico y trabajable, la duración varía de acuerdo con el tiempo de fraguado, así como por la temperatura y humedad. Sus propiedades se relacionan

con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución, se mencionan las siguientes:

- **Adherencia:** capacidad para absorber tenciones normales o tangenciales a la superficie de la interfase mortero - base, es decir, la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte.
- **Consistencia:** definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende de la cantidad de agua usada.
- **Densidad:** directamente relacionada con los materiales componentes, así como su contenido en aire.
- **Tiempo abierto:** intervalo máximo de tiempo admisible desde que se aplica el producto hasta colocar la pieza a adherir al soporte sin que se produzca una merma en su poder adhesivo, así como también es el tiempo, en minutos, durante el que se puede retirar la pieza adherida a la capa de mortero sin que éste haya perdido su capacidad adherente.
- **Trabajabilidad o manejabilidad:** facilidad para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.
- **Retracción:** contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento, esto es provocado por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero. Se distingue un tipo:

1. **Retracción plástica:** contracción por desecación durante **Figura 5 Retracción plástica.**

el proceso de fraguado, cuando el mortero no es capaz de transmitir ni soportar tensiones producidas por la rápida evaporación del agua, provocando un afogado (fisura), observe la figura 5, la cual no alcanza gran profundidad. A mayor dosificación de cemento mayor será el valor de retracción plástica y se produce en elementos superficiales con poco espesor, ante altas temperaturas con vientos secos y falta de curado.



*Nota.* Se muestra el efecto producido por la contracción. Fuente: Kishore (2012).

### 2.1.2.5 Propiedades en mortero endurecido

Estas son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias. De estas exigencias nace el estudio de las propiedades del mortero en estado endurecido, se mencionan las siguientes:

- Adherencia: basada en la resistencia a tracción de la unión entre mortero y un soporte definido. Depende de tres aspectos:
  1. El mortero.
  2. El soporte y preparación.
  3. La forma de aplicación.
- Apariencia: un aspecto generalmente olvidado en el concreto, que cobra mayor importancia en el mortero, aquí la plasticidad de la mezcla, la selección y dosificación adecuada de sus componentes, son vitales en la colocación y acabado de la superficie.
- Durabilidad: al igual que en el concreto, esta propiedad en el mortero es la resistencia a los agentes externos, como a las bajas temperaturas, desgaste por abrasión, agentes corrosivos, etc., sin deterioro de sus condiciones físico - químicas con el tiempo.
- Impermeabilidad: el exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y el agua puede penetrar o atravesar el mortero, con la succión del agua exterior se favorece el tránsito de partículas o componentes no deseables para la durabilidad del conjunto constructivo; la inclusión de aire, así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.
- Permeabilidad al vapor de agua: el paso de vapor a través de la estructura capilar del material favorece su transpiración impidiendo la aparición de condensaciones en el interior, por causas higrotérmicas (temperatura y humedad en el ambiente).
- Resistencia: consiste en tomar muestras durante el mezclado de las cuales después de ser curadas se someten a pruebas de compresión. La resistencia a la compresión es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura).
- Retracción: en este caso, se distinguen dos tipos:

1. Retracción hidráulica o de secado: contracción por evaporación de agua, producida al finalizar el fraguado, este efecto se observa en la figura 6, si este tipo de retracción es intenso causa un cambio volumétrico y aumenta con:

- El espesor de recubrimiento.
- La mayor relación agua/cemento.
- La menor relación volumen/superficie.
- La riqueza de conglomerante del mortero y la finura de molido de éste.

**Figura 6** *Retracción de secado.*



*Nota.* Se muestra el efecto producido por la contracción.  
Fuente: Kishore (2012).

2. Retracción térmica: contracción por variación en la temperatura durante el endurecimiento, esto se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 7** *Retracción térmica.*



*Nota.* Se muestra el efecto producido por la contracción.  
Fuente: FOPAE (2011).

### **2.1.2.6 Características**

Rodríguez (2003) nombra los factores que hacen del mortero un material empleado en distintas aplicaciones en edificación:

- Adaptabilidad formal: el mortero se adapta a cualquier superficie y volumen, forma e intersticio.
- Facilidad de aplicación: no requieren especial sofisticación para su puesta en obra, pueden ser aplicados manualmente o por proyección.
- Prestaciones diseñables: ofrece la posibilidad de adaptar sus propiedades a las exigencias que se deseen conforme a la composición y dosificación precisas.

### **2.1.2.7 Ventajas**

Rodríguez (2003) también menciona las ventajas que se tienen:

- Versatilidad: los morteros, aunque comúnmente se utilizan en la albañilería tradicional, pueden tener otras aplicaciones debido a sus propiedades específicas, que les permiten adaptarse a diversas necesidades en la construcción.
- Reducción de costos.
- Reducción de la gestión y recepción de pedidos (cementos, arenas, pigmentos, etc.).
- Fabricación inmediata, sencilla y automatizada.

## **2.1.3 Materias orgánicas e industria de la construcción**

### **2.1.3.1 Diseño desde el punto de vista sustentable**

El diseño sustentable en arquitectura y construcción es un proceso de creación en el cual se establecen criterios de desarrollo sustentable como: reducción de gastos en los recursos naturales empleados, disminución de la contaminación al suelo, aire y agua; mejoramiento del confort y de la calidad del interior del edificio, ahorro económico y financiero en los proyectos constructivos; aminorar los desperdicios y desechos generados tanto en el proceso constructivo, del mantenimiento y de fin de la vida útil de la construcción, así como mermar los desperdicios industriales generados por fabricación de materiales constructivos y equipo para edificios (Spiegel y Meadows, 1999).

Los objetivos primordiales de la eco construcción son las personas, el ecosistema, la economía, la sostenibilidad, la cual no solo se trata de cuidar y conservar el medio ambiente, si no de lograr el bienestar para las personas, trabajando en la elaboración de entornos agradables.

### **2.1.3.2 Mortero reforzado con fibras**

El principal propósito del mortero reforzado con fibras es mejorar su resistencia a tensión y evitar el agrietamiento, estas cumplen su función en un periodo relativamente corto debido a la tendencia a degradarse en la matriz alcalina, especialmente en ambientes cálidos y húmedos; a diferencia de refuerzos de asbestos y acero que cumplen esta función durante varios años (Stulz y Mukerji, 1993).

Las fibras naturales pueden constituir una posibilidad de uso para modificar las propiedades del mortero en los países en desarrollo, considerando que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua. No obstante, estas fibras son afectadas principalmente por la alcalinidad de la matriz cementante, haciendo que su durabilidad dependa de la protección que tengan las fibras. Asimismo, dependiendo del grado de polimerización de los componentes de las fibras existirá un mayor o menor grado de solubilidad en el medio acuoso o alcalino lo cual puede provocar pérdida de la resistencia mecánica por descomposición cuando son empleadas como refuerzo. La región central de las fibras es responsable de la gran incidencia de los poros permeables en las fibras, a causa de que absorben una elevada cantidad de agua (Paricaguán y Muñoz, 2019).

La necesidad de desarrollar materiales de construcción localmente disponibles, mejorar la calidad de los productos y comprender mejor su comportamiento en ambientes reales, no puede ser ignorada, como lo menciona el American Concrete Institute [ACI] (1998) en una de las publicaciones del comité 544 con respecto al concreto, mezcla que, a diferencia del mortero, contiene grava en su composición: "El concreto reforzado con fibras naturales es adecuado para la construcción de bajo costo, lo cual es deseable en países en desarrollo. Es importante que los investigadores, los ingenieros de diseño y la industria de la construcción apoyen decididamente el uso y desarrollo de materiales de la localidad. La durabilidad y la sensibilidad a la humedad de las fibras naturales son los aspectos críticos de estos compuestos y requieren ser

investigados. Esta investigación es necesaria para entender completamente por qué la humedad y los ambientes agresivos cambian los mecanismos de falla, y afectan las características de resistencia y tenacidad del compuesto. Potenciales refinamientos en la matriz cementante, como la reducción de la alcalinidad y de la permeabilidad necesitan ser investigados más profundamente".

Los autores Lainez y Villacis (2015) indican que las fibras de la cáscara de coco son consideradas un material inerte debido a que como carece de nutrientes se puede asemejar a la tierra o a la arena; es una fibra multicelular teniendo como principales componentes la celulosa y el leño, lo que otorga elevados índices de rigidez y dureza, algunas de sus características son la baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua, lo que convierten a la fibra de la cáscara de coco en un material versátil, indicado para los mercados del aislamiento térmico y acústico, teniendo una alta porosidad, hasta el 95% que le confiere una excelente distribución del aire y agua, el paso del aire sigue siendo superior al 20% aún saturado de agua; es de peso liviano lo cual beneficiaría a la industria de la construcción para alivianar la carga.

### **2.1.3.3 Mortero con cenizas**

Calleja (1982) menciona que las cenizas se han empleado como aditivo para mortero, o como material cementante complementario o sustitutivo del cemento. En general, una ceniza adecuada puede ejercer y ejerce simultáneamente las tres funciones, a veces de forma inseparable, hasta el punto de que acaso se ha utilizado como sustitutivo de cemento y arena a un tiempo. Como sustitutivo del cemento en peso en distintas proporciones (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40...%) y como complemento de finos, por ejemplo, de la arena, en proporción de 40 a 60% en volumen; y a veces de forma combinada tal, que la relación ceniza total/cemento resulta ser también de 40 a 60% en peso.

Estos pudieran ser los principales motivos generales de empleo de las cenizas volantes, desde puntos de vista técnicos, aunque también los hay de carácter económico: ahorro de Clinker en el cemento y, por consiguiente, de energías como los combustibles, y la electricidad; materias primas en la fabricación del cemento, cuando se utilizan molidas y/o mezcladas con el Clinker

en fábrica, y ahorro de cemento, por lo tanto, reducción del costo. Esto se debió al menor precio de la ceniza, detalle que ya se aprovechó en los años 50. Los motivos técnicos y los económicos suelen ir indisolublemente unidos entre sí, y también a los positivos fines ecológicos de la conservación del medio ambiente, al suprimir las acumulaciones de cenizas como subproductos de desecho, salvo mejor fin (Calleja, 1982).

Las cenizas de agave son aptas como adiciones activas al Clinker de cemento Portland, en paralelo con las puzolanas naturales, ya que, como materiales activos, confieren a los cementos resultantes propiedades y comportamientos específicos distintos y mejores en muchos aspectos que los de los cementos Portland ordinarios que no contienen adiciones activas o constituyentes secundarios (Calleja, 1982).

#### **2.1.3.4 Diseño de morteros de cemento Portland**

En muchos países de Latinoamérica se tiende a dosificar el mortero por volumen, debido a la tecnología existente en las obras (sistemas rudimentarios de producción) y a los volúmenes de mezcla que se manejan a diario. Sin embargo, esto resulta ser un error en obras de gran tamaño, debido a que es antiético y antieconómico, dado que el control de los materiales es deficiente (Sánchez de Guzmán, 2001).

El diseño de las mezclas tiene como objetivo optimizar los materiales con el máximo rendimiento, toda mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de trabajabilidad y economía, y para estado endurecido son las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunos casos el peso volumétrico (Niño, 2010).

El diseño de mezcla es un proceso que determina la cantidad de material aglutinante, material de relleno, agua y eventualmente aditivos. Sánchez de Guzmán (2001), menciona que todo diseño de mezcla se fundamenta en el uso que se le va a dar al mortero, y por las técnicas de colocación y transporte, basado en lo anterior se escoge la mano de obra calificada. Antes de dosificar una mezcla también se deben conocer las propiedades de los materiales con los que se va a preparar.

#### 2.1.4 Fibras

Martínez de las Marías (1976) define a las fibras como estructuras unidimensionales, largas y delgadas; se doblan con facilidad, éstas pueden dividirse en tres clases:

- Fibras naturales: vegetales, animales e inorgánicas.
- Fibras celulósicas: hechas por el hombre.
- Fibras no celulósicas: hechas por el hombre.

Dentro de las fibras naturales se puede encontrar el algodón, el limo, las gramíneas, el cáñamo, el yute, la madera, el bagazo, el coco, entre otras.

##### 2.1.4.1 Problemas de las fibras

En las investigaciones realizadas por Stulz y Mukerji (1993) y la empresa Sika (s.f.), los problemas de las fibras son:

- Debilitamiento y degradación respecto al tiempo.
- Corrosión de la fibra, por la alcalinidad del cemento.
- En algunos países el desarrollo y el abastecimiento es limitado, generando precios altos.
- La incorrecta manipulación, transporte e instalación de los productos puede originar grietas y roturas, volviéndose ineficiente antes que inicien su vida útil.

Dentro de las soluciones a los problemas comunes en la adición de fibras naturales al mortero se encuentran las siguientes:

- Tener completo control de calidad.
- Para reducir la corrosión se emplea una puzolana altamente activa como la cal hidratada.
- Emplear partículas de arena angulosa de buena granulometría. Las partículas pequeñas llenan los espacios vacíos entre las grandes, requiriendo menos cemento y produciendo una matriz menos permeable.
- Las impurezas, como las sales, no afectan necesariamente a las fibras, obteniendo resultados satisfactorios con agua salobre, sin embargo, es recomendable emplear el agua más limpia disponible.

#### 2.1.4.2 Aplicaciones

Las aplicaciones más comunes que da Stulz y Mukerji (1993) a las fibras son:

- Tejas y láminas corrugadas para techos.
- Baldosas planas para pisos y pavimentos.
- Paneles ligeros para pared y elementos para enchapados.
- Jambas de ventanas y puertas, antepechos de ventana, parasoles.

#### 2.1.5 Coco: origen y dispersión

A nivel mundial los principales países productores de coco son Filipinas, India, Malasia, Ceilán, África, Islas del Caribe y América Latina (Rojas, 2015). Según la empresa sueca Tetra Pak, México está posicionado en el séptimo lugar en cuanto a los países productores de coco en el mundo (después de Filipinas, India, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Sri Lanka, quienes concentran el 91% de la superficie plantada, siguiendo a Brasil con 2,4% y México con 1,4% de la producción) y en el segundo lugar en América. El coco se genera en superficies de 124,3 mil hectáreas en Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Tabasco y Veracruz, donde el principal estado productor es Guerrero, aportando un volumen de 178,2 mil toneladas, representando el 80% de la producción, seguido de Colima con 18 mil 574 toneladas, Tabasco con 10 mil 955 toneladas, Oaxaca con 7 mil 823 toneladas y Michoacán con 2 mil 588 toneladas (Alcántara, 2017).

El coco se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de África, el Caribe y América del Sur. Su mayor variabilidad se presenta en el sureste asiático y en segundo lugar en el Caribe. Debido a su presencia e historial en las regiones tropicales y subtropicales de todos los continentes, no hay certeza sobre su origen. Se cree que, aunque el ancestro silvestre del coco pudo ser del sureste de Asia o de Sudamérica, la gran dispersión de esta especie se atribuye a que los cocos flotantes son llevados por corrientes marinas o por acarreo del hombre en barcos como fuente de alimento y bebida (Granados y López, 2002).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] (2016) menciona que México cuenta con un territorio nacional de 198 millones de hectáreas de las cuales 145 millones se dedican a la actividad agropecuaria.

**Tabla 2 Cierre de producción agrícola.**

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie sembrada (Ha)</b>	<b>Superficie cosechada (Ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>PMR (S/Ton)</b>	<b>Valor producción (miles de pesos)</b>
<b>Coco</b>	14,984.90	14,594.54	189,152.04	12.96	2,087.16	394,791.43

*Nota.* Datos tomados de SAGARPA (2016).

Galeana (2017) indica que en México la producción del coco se localiza en dos regiones:

- La del Golfo y Caribe, en las costas de Tabasco, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.
- La del Pacífico, en las costas de Guerrero (costa grande y costa chica), Colima, Oaxaca, Michoacán, Sinaloa, Jalisco y Chiapas.

#### **2.1.5.1 Uso y aplicación del coco**

Se han desarrollado áreas industriales de gran crecimiento en torno al coco, por ejemplo, el envasado del agua de coco; el aceite de la copra que se utiliza para producir biodiesel; la concha o cáscara que sirve para hacer carbón activado, y crear, entre otros objetos, filtros para mascarillas y para purificar gases industriales; en la industria automotriz, Mercedes Benz, Ford y otras empresas utilizan la fibra en sus accesorios y desarrollan nuevos materiales para autopartes con base en la combinación de la fibra con polímeros. Además, en México se está realizando investigación para aprovechar la fibra en la industria de la construcción (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías [CONAHCYT], 2017).

El procesamiento de las fibras o estopa produce el polvo, el cual es utilizado como material de empaque, en la manufactura de tableros de partículas y como un material aislante. Se ha encontrado mucha demanda como sustrato por sus excelentes propiedades físicas y su facilidad de manejo, también por su carácter ecológico (Novoa, 2005). De acuerdo con Lizano (2005)

menciona que de la estopa o mesocarpio se extraen las fibras para elaborar alfombras, sacos, etc., y que el polvo de la estopa se usa para enmendar suelos arenosos, ya que mejora el poder de retención de agua.

### **2.1.6 Agave: origen y dispersión**

México es el centro de origen de la familia de las Agaváceas, a la cual pertenece el maguey, incluye 288 especies, 166 de las cuales son magueyes, agrupados en el género agave. En el país se han encontrado 125 especies de agaves, lo que representa el 75% del total mundial (Cervantes, 2002).

Aunque el mayor número se concentra en Oaxaca con el 23%, Jalisco es el estado con más riqueza en el occidente de México (García et al., 2004). Otra área con mucha riqueza corresponde al Valle de Tehuacán-Cuicatlán con 15 especies; no sólo conserva una gran riqueza de grupos taxonómicos, sino también filogenéticos. Datos más recientes señalan que existen aproximadamente 200 especies de agave de las cuales 150 se encuentran en México, más 36 especies que pertenecen a categorías infra específicas, lo cual constituye un total de 186 taxones (García, 2007).

La distribución del género abarca del sur de los Estados Unidos hasta Colombia y Venezuela. Los países con el mayor número de taxones son México, Estados Unidos, Cuba y Guatemala; los demás tienen menos de 8 especies, lo que resulta ser un equivalente a menos del 3% del total (Pérez et al., 2016).

El bagazo de agave constituye el residuo fibroso que queda después del proceso de producción del mezcal. En peso húmedo el bagazo representa cerca del 40% del peso total de la cabeza de agave procesada (Cedeño, 1995). Principalmente está compuesto de fibras heterogéneas de 10 a 12 cm de largo y material orgánico no fibroso en forma de partículas finas que corresponden a la corteza y envoltura fibrovascular dispersa en el interior de la cabeza de la planta de agave (Iñiguez et al., 2001).

#### **2.1.6.1 Uso y aplicación del agave**

Encuestas realizadas por Colunga et al. (2007), mostraron que 74 especies de agave se utilizan en México para producir alimentos, bebidas fermentadas o destiladas, fibras y forraje; de las

cuales entre 42 y 53 especies se utilizan exclusivamente para la producción de mezcal en 26 estados de México, siendo recolectadas en su mayoría en los bosques (Torres et al., 2015).

De las 14 especies de agave más utilizadas en la elaboración de mezcal, dos de ellas son cultivadas en plantaciones agroindustriales monoespecíficas: Agave tequilana (para la producción de tequila) y agave angustifolia (Aguirre y Eguiarte, 2013). Este último es extensamente cultivado en el estado de Oaxaca y es la fuente de producción de la mayoría del mezcal comercial elaborado en México (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2006 y Gentry, 1982).

Las hojas del agave constituyen una fuente importante para la obtención de fibras naturales muy resistentes y maleables. A partir de las hojas se extraen fibras que se usan para la construcción de sogas, para la elaboración de mallas de pesca; puentes colgantes, mallas de embalaje; mallas de carga, hamacas, empaques y objetos ornamentales. El tallo floral maduro y seco se usa para la construcción de viviendas, ventanas; puertas y corrales para el ganado (Bautista y Arias, 2008).

En la construcción se utilizan tejas elaboradas de las hojas secas, vigas formadas del tallo que contiene la flor; clavos, estiletes y agujas obtenidas de las espinas. De igual modo, se fabrican instrumentos musicales partiendo de la florescencia del agave como el llamado quiote. En cuanto a las cenizas de agave, las aplicaciones que destacan son en su utilización en la fabricación de ladrillos para la construcción de viviendas y para la fabricación de colchones (Iñiguez et al., 2001).

### **2.1.7 Panel**

Elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales en el interior o exterior de las viviendas y otras edificaciones. Debe ser manejable como una sola pieza y sus dimensiones deben ser mucho mayores que su espesor.

Los paneles son ideales para una construcción:

- Ligera
- Rápida

- Versátil
- Aislada
- Económica

Dependiendo de la función dentro de la edificación, el revestimiento o panel, puede ser diseñado como un elemento portante o no portante.

#### **2.1.7.1 Panel portante o resistente**

Soportan y transmiten las cargas verticales de los pisos y la estructura. Pueden contribuir a la estabilidad horizontal de la edificación, por consiguiente, se requiere de un análisis adecuado para de esta manera comprobar que la flexión y compresión combinadas son admisibles para el elemento (Sánchez, 2010).

#### **2.1.7.2 Panel autoportante o no resistente**

Solamente soportan las cargas del viento, la estabilidad horizontal, nieve y térmicas. Estos elementos pueden suprimirse sin afectar a la estructura ni a la estabilidad del conjunto; solo cumplen con la función de envolvente y se limitan a una función de cerramiento en cuyo caso soportan solo su propio peso (Sánchez, 2010).

#### **2.1.7.3 Ventajas**

- **Calidad:** la estandarización en la fabricación asegura una mayor consistencia y calidad en la ejecución del proyecto, pueden incorporar las últimas tecnologías y la experiencia de diseños innovadores y construcciones nuevas.
- **Durabilidad:** la vida de las viviendas edificadas con paneles es muy similar a las del concreto sólido, los muros y las losas son resistentes al fuego y a los fenómenos naturales.
- **Ahorro de tiempo y costos:** la prefabricación de los paneles, y gracias a su ligereza y tamaño, acelera significativamente el proceso de construcción reduciendo los plazos de entrega, y al requerir menos mano de obra disminuyen los costos. Además, se pueden reutilizar en caso de desmontar la estructura.
- **Versatilidad y estética:** los paneles son fáciles de modificar para acomodar nuevas aberturas o ampliaciones del proyecto, compatibilidad y adaptabilidad a materiales

constructivos tradicionales, se puede utilizar para muros, losa de entrepiso y azotea, o todo tipo de detalles volumétricos arquitectónicos, con acabados para personalizar la construcción.

- Menor impacto ambiental: los paneles prefabricados son más sostenibles que otros materiales de construcción ya que requieren menos energía y menos recursos naturales para su fabricación, además, minimiza la cantidad de residuos de construcción y demolición generados.

#### **2.1.7.4 Desventajas**

- Manipulación y transporte: los elementos sufren estados de carga transitorios en su transporte y colocación, izado y ajustes, que pueden afectar la resistencia estructural de la pieza.
- Mayor cuidado: se debe tener cuidado en la elaboración del mortero, cada variación de agua o cemento repercuten directamente en la resistencia.
- Zonas débiles: existe la posibilidad de que se generen agrietamientos y fallas estructurales si no se tiene cuidado a la hora de colocar acero de refuerzo en los lugares donde se rompa la continuidad del panel.
- Coordinación de tareas: es fundamental para las instalaciones a fin de evitar trabajos posteriores, un error en la resolución de estos conflictos puede llevar al fracaso de la obra (uniones, costes, resistencia estructural, etc.)

## **2.2 Marco Legal**

### **2.2.1 NMX-C-ONCCEE (Normas Mexicanas – Materiales de Construcción – Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación).**

#### **NMX-C-021-ONNCCE-2015**

Industria de la construcción – Cemento para albañilería (mortero) – Especificaciones y métodos de ensayo. Establece las especificaciones y métodos de ensayo que debe cumplir el cemento para albañilería (mortero), de fabricación nacional o extranjera que se comercialice en territorio nacional.

**NMX-C-061-ONNCCE-2015**

Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos. Establece el método de ensayo bajo por el cual se determina la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos que se comercializan en territorio nacional, por medio de especímenes cúbicos de 50 mm o 2 pulgadas por lado.

**NMX-C-085-ONNCCE-2015**

Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos. Establece el método para efectuar el mezclado mecánico de pastas y morteros de cementantes hidráulicos que se comercialicen en territorio nacional.

**NMX-C-329-ONNCCE-2016**

Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la granulometría de la arena de sílice utilizada en la preparación de los morteros de cementantes hidráulicos.

**NMX-C-405-ONNCCE-2014**

Industria de la Construcción - Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos - Especificaciones y métodos de ensayo. Establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos para muros, techos y entrepisos de las edificaciones.

**NMX-C-414-ONNCCE-2017**

Industria de la Construcción - Cementantes hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo. Establece las especificaciones y métodos de ensayo aplicables a los diversos tipos de cementantes hidráulicos de fabricación nacional o extranjera que se destinen a los consumidores en México.

**NMX-C-486-ONNCCE-2014**

Industria de la construcción - Mampostería - Mortero para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo. Establece las especificaciones y métodos de ensayo que debe cumplir el mortero a base de cemento hidráulico, cemento de albañilería y/o cal hidratada, para la construcción de elementos de mampostería de uso estructural.

### **2.2.2 N-CMT (Normas Mexicanas – Características de los Materiales).**

#### **N-CMT-2-01-004/02**

Materiales para estructuras – Materiales para mamposterías- morteros. Contiene los requisitos de calidad de los morteros que se utilizan en trabajos de albañilería, tales como juntas, aplanados y firmes, entre otros.

### **2.2.3 ASTM (American Society for Testing and Materials).**

#### **ASTM C 91-05**

Cubre tres tipos de cemento de mampostería para su uso cuando se requiere mortero para mampostería.

#### **ASTM C 109-05**

Determina la resistencia a la compresión del cemento hidráulico y otros morteros.

#### **ASTM C 128-07**

Método de prueba estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino

#### **ASTM C 270-07**

Especificaciones a los morteros que se usan en la construcción de estructuras de mampostería con y sin esfuerzo. Se incluyen cuatro tipos de mortero en cada una de las dos especificaciones alternas (especificaciones del proporcionamiento y especificaciones de propiedades).

#### **ASTM C 618 -19**

Cubre las cenizas volantes de carbón y la puzolana natural bruta o calcinada donde se desea una acción cementicia, puzolánica, o ambas, o donde se pueden desear otras propiedades.

# **CAPÍTULO III** PROCESO DE DISEÑO



Las fibras naturales y puzolanas como refuerzo en el mortero tienen un amplio campo de aplicación en la ingeniería y la arquitectura. Las potenciales aplicaciones del diseño de mezcla seleccionado dependen de la capacidad de proveer un material con calidad, resistente y durable.

Posterior al proceso de diseño, se desarrolla el proceso para la fabricación del panel. El panel que se emplea en este estudio es un panel no portante, es decir, que está destinado a resistir solamente su propio peso y las sobrecargas ocasionales.

### 3.1 Ideación y planeación

#### 3.1.1 Formas de paneles arquitectónicos

Sánchez (2010) menciona que la plasticidad es una de las propiedades importantes del mortero, lo que da como resultado una variedad de formas posibles, las cuales no se limitan a formas redondeadas ni a volúmenes cerrados en superficies planas. La forma de un panel prefabricado es una consideración económica significativa, teniendo como factor si puede ser abierto o cerrado, como se muestra en la figura 8; por ejemplo: un módulo de ventana es un elemento cerrado y este mismo sin la parte inferior es considerado un elemento abierto, generalmente son más delicados por lo que pueden necesitar fuertes soportes para su manipulación o rigidizadores temporales, aumentando su coste y algunos pueden generar alaveo.

**Figura 8** Formas de paneles.



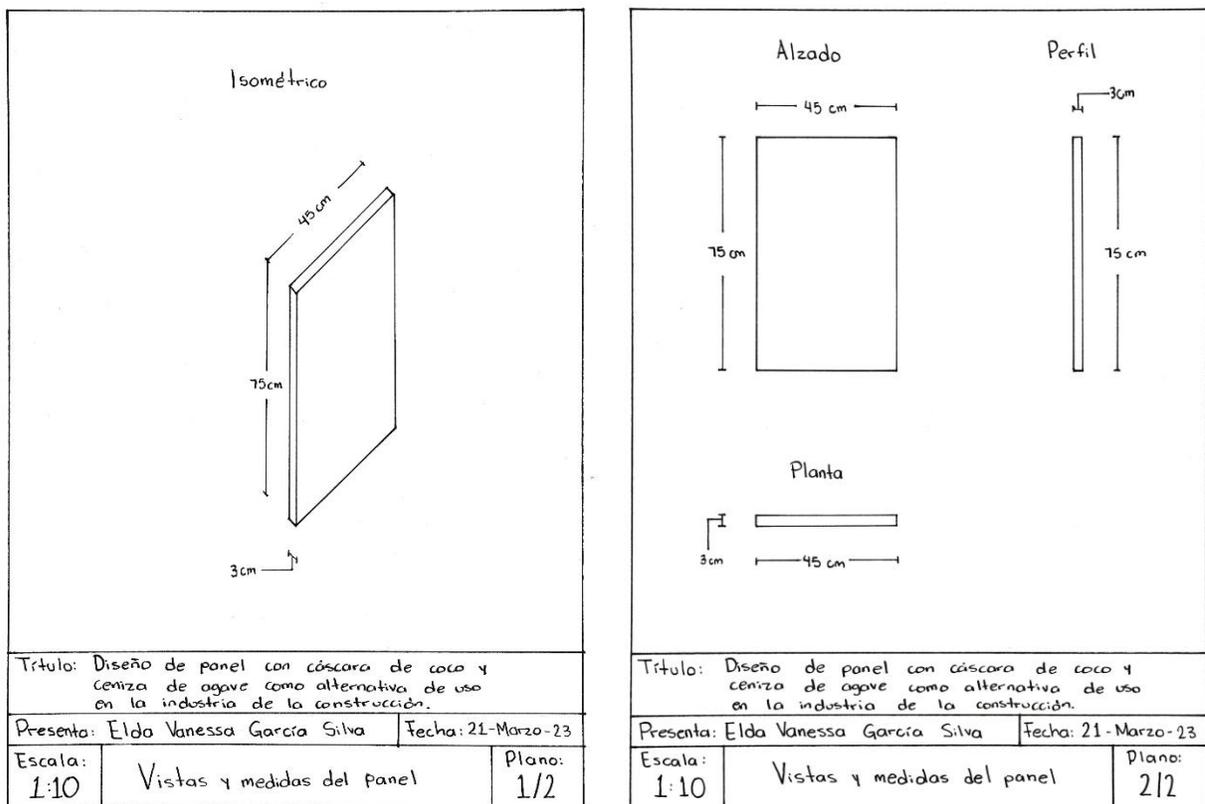
*Nota.* La figura muestra la forma de un panel abierto y de un panel cerrado respectivamente.  
Fuente: Sánchez (2010).

### 3.1.2 Dimensiones de paneles arquitectónicos

Las dimensiones de los paneles prefabricados están en torno a 1,22 m x 2,44 m, con un espesor de 12,7 mm; las dimensiones máximas están alrededor de 12,00 m x 3,20 m son especificadas por cada fabricante y principalmente limitadas por el transporte, con un espesor que ronda entre 8 cm, 10 cm y 12 cm, pudiendo fabricar otros espesores que dependerá de la necesidad de seguridad ante grietas y deformaciones, del diseño estructural y el armado. El número infinito de combinaciones, material, forma, tamaño y función que puede tener un panel prefabricado dificulta el presentar una tabla de dimensiones (Sánchez, 2010).

Para el panel a diseñar, las dimensiones que se precisan son 45 cm x 75 cm, con un espesor de 3 cm, como se muestra en la figura a continuación.

**Figura 9** Planos de vista y medidas del panel.



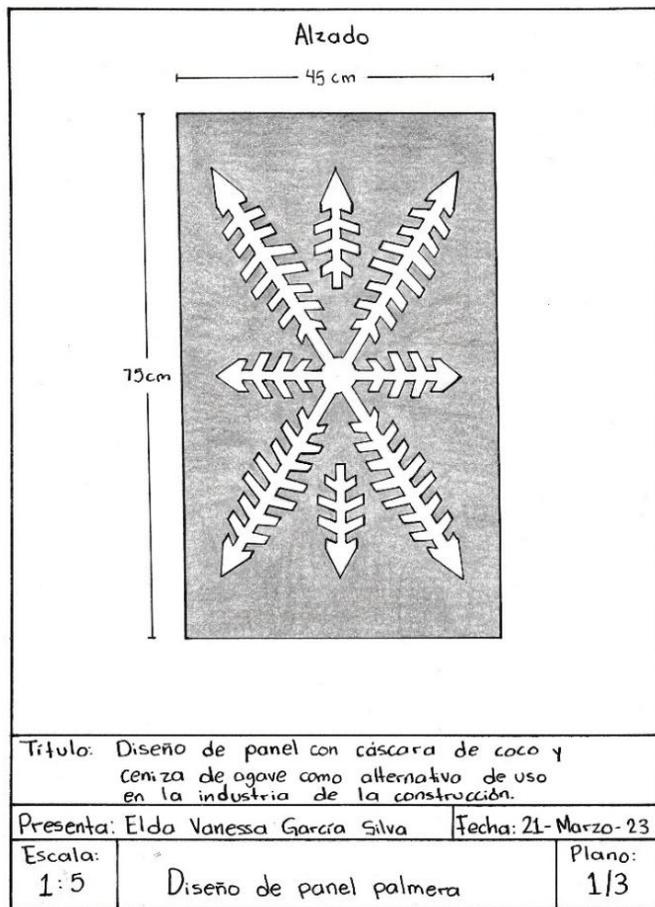
*Nota.* La figura muestra el isométrico, las vistas en alzado, perfil y planta, con medidas generales del panel a diseñar. Fuente: Propia (2023).

### 3.2 Bocetaje

En la figura 10, 11 y 12 se presentan tres diseños de panel, inspirados en los materiales orgánicos utilizados en el proyecto de investigación, donde en cada boceto la figura representada es al vacío. Cada diseño es realizado para que el panel pueda ser utilizado tanto vertical como horizontal, resultando ser funcional y estético.

En el primer boceto se representa la forma de la palmera con una vista inferior. El círculo central figura el tronco del cual se explayan las hojas de palma.

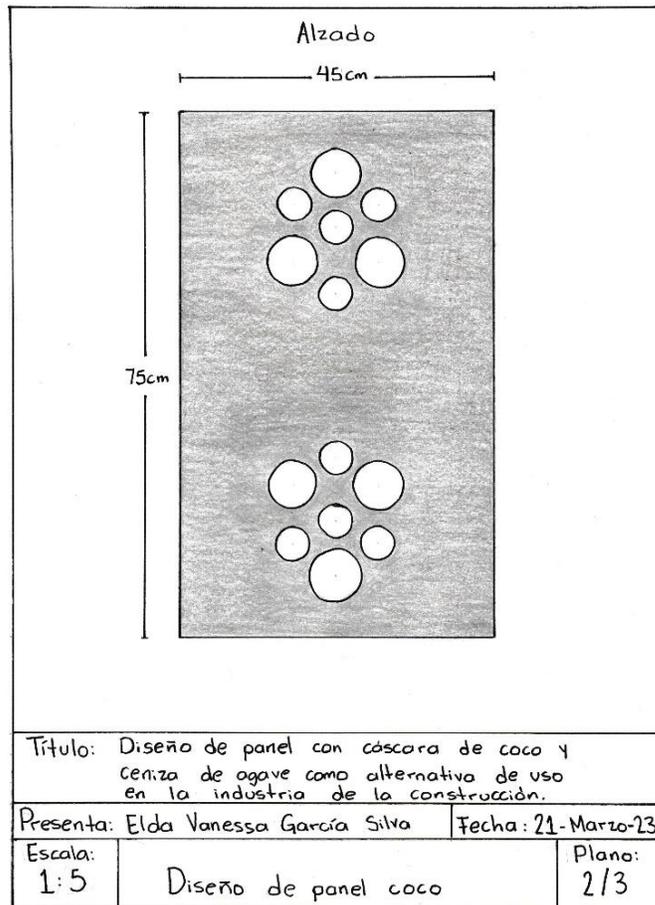
**Figura 10 Boceto 1, palmera.**



*Nota.* La figura muestra el plano del diseño de palmera para el panel y la vista inferior de una palmera en la población de Stgo. Pinotepa Nacional Oax., Fuente: Propia (2023).

En el segundo boceto se representan por medio de círculos de 15 cm y 10 cm, dos racimos de cocos, ubicados en el centro del panel de forma simétrica.

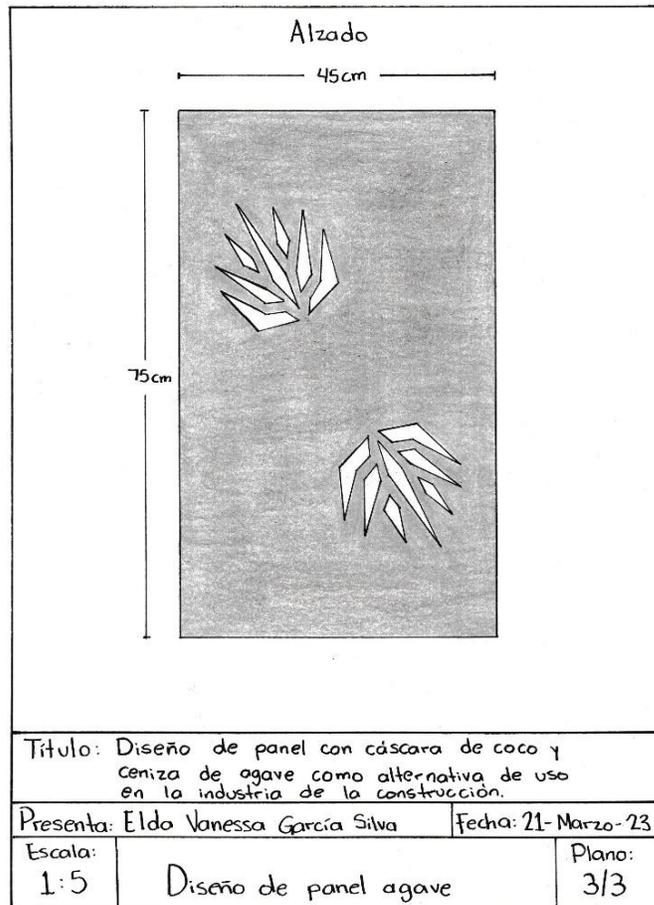
**Figura 11** Boceto 2, coco.



*Nota.* La figura muestra el plano del diseño de cocos para el panel y la vista de los racimos de cocos en la palmera. Fuente: Propia (2023).

En el tercer boceto se representan dos agaves en contra esquina.

**Figura 12 Boceto 3, agave.**



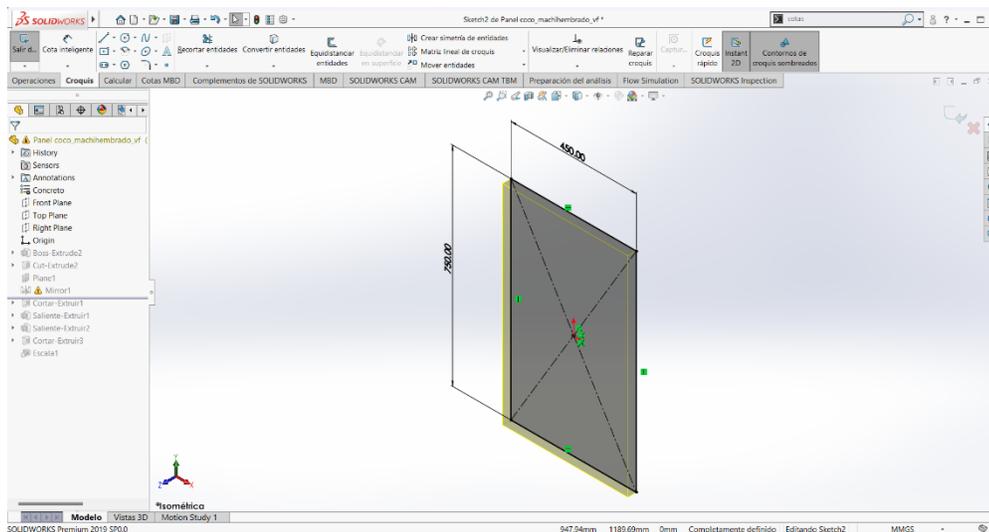
*Nota.* La figura muestra el plano del diseño de agave para el panel y la vista de agaves en la población de Stgo. Matatlán, Oax., Fuente: Propia (2023).

### 3.3 Modelado y presentación

Para realizar el modelo 3D de los paneles diseñados se utiliza el software CAD para modelado mecánico 2D y 3D SolidWorks, una vez dentro de la interfaz:

1. Se abre un nuevo archivo eligiendo la opción pieza.
2. Se activa la vista plano frontal, enseguida se selecciona la opción croquis.
3. Con la herramienta rectángulo se realiza uno con las medidas asignadas al panel diseñado, se procede a salir del croquis.
4. Con la herramienta extruir saliente se asigna el grosor del panel, como se observa en la siguiente figura.

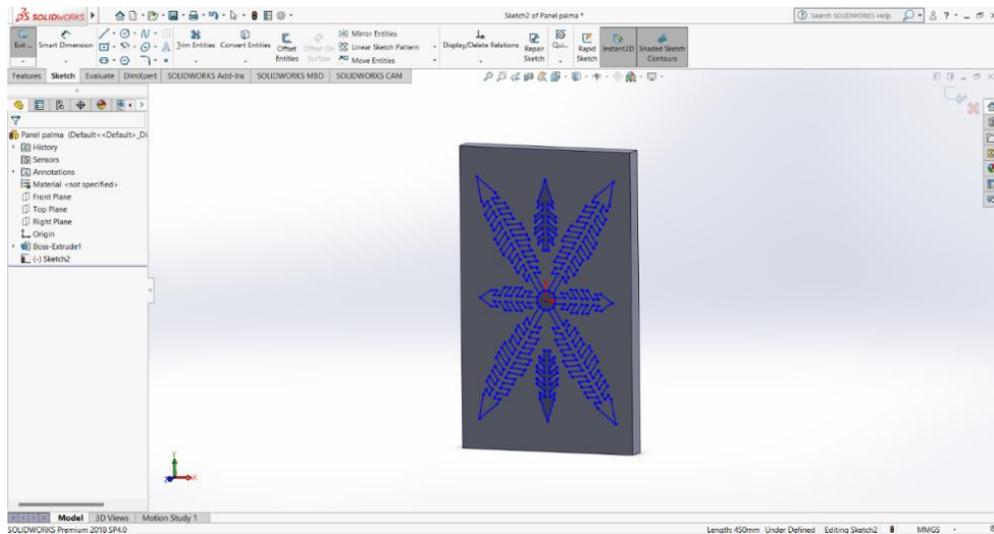
**Figura 13 Extrusión.**



*Nota.* Se muestra el proceso de extrusión del modelo 3D del panel en el software SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

- Posteriormente se selecciona la cara frontal del modelo del panel, realizando un nuevo croquis en el cual se traza el diseño utilizando las herramientas círculo, línea, y simetría.

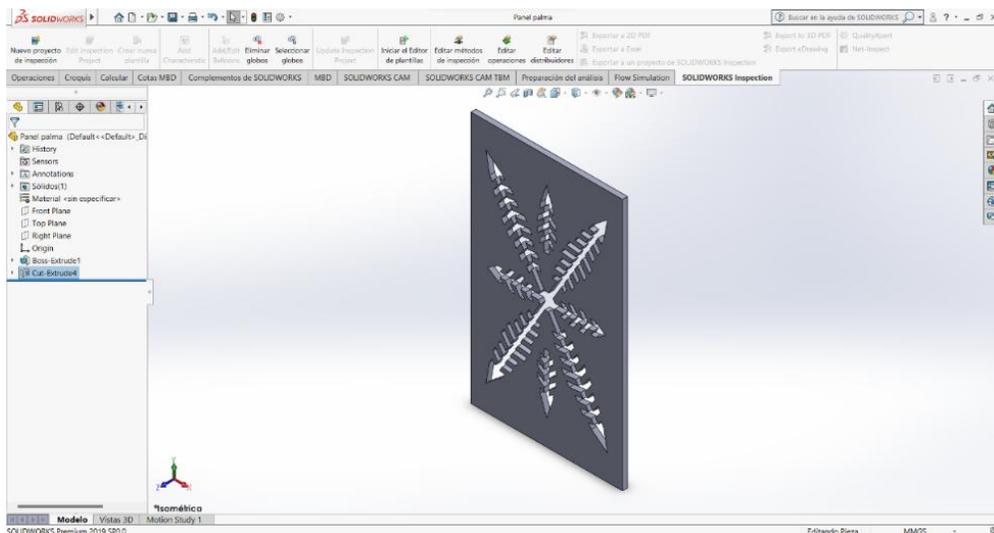
**Figura 14** Trazo de diseño.



*Nota.* Se muestra el diseño trazado en la cara frontal del modelo 3D del panel en SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

- Se selecciona la herramienta extruir corte para así obtener el resultado del diseño del panel, como se muestra en la figura 15.

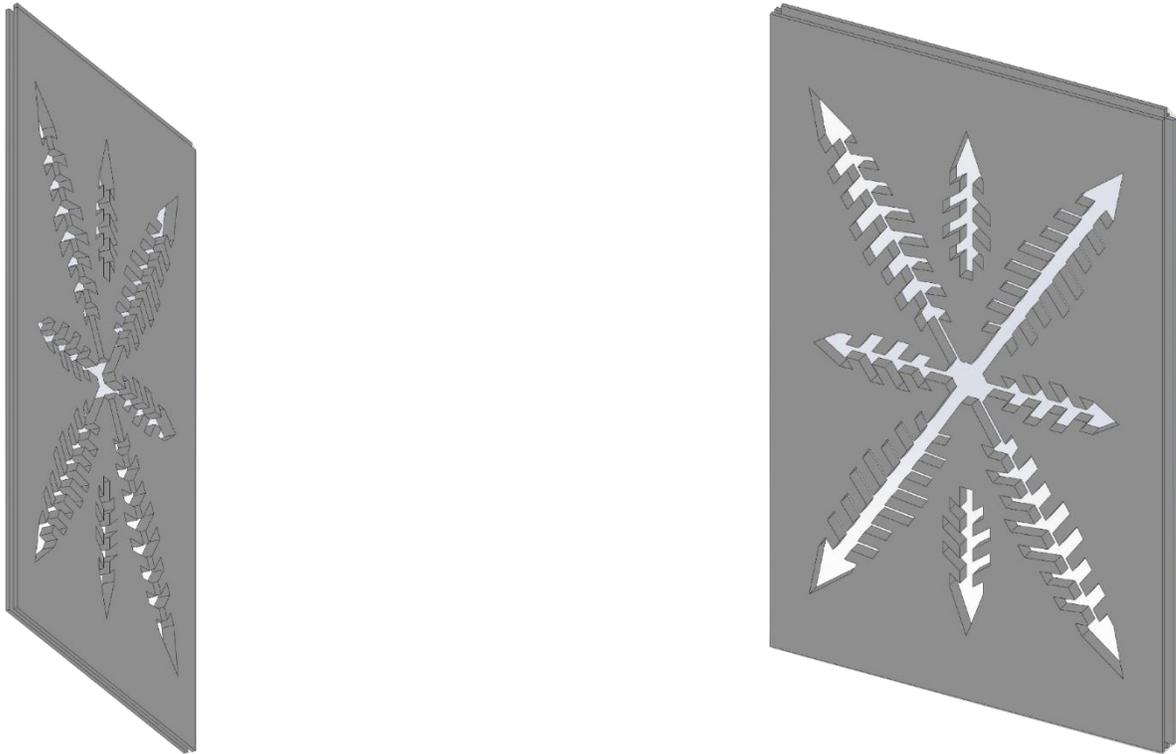
**Figura 15** Diseño del panel.



*Nota.* Diseño palmera en SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

7. Por último, se realiza el machihembrado que llevará el panel, en la parte superior y perfil derecho se genera la conexión macho utilizando la herramienta extruir saliente; en la parte inferior y perfil izquierdo se genera la conexión hembra usando la herramienta extruir corte. Obteniendo así el modelo final del panel.

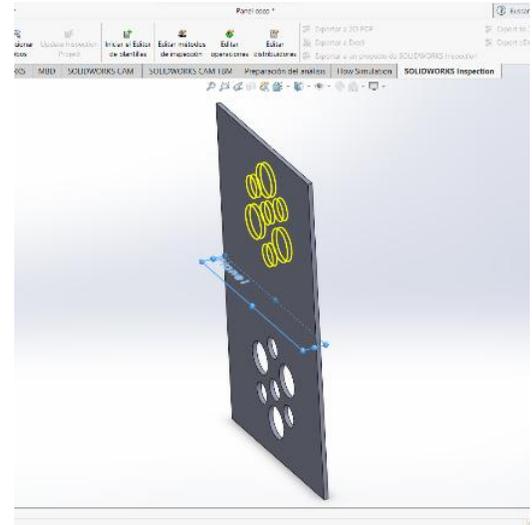
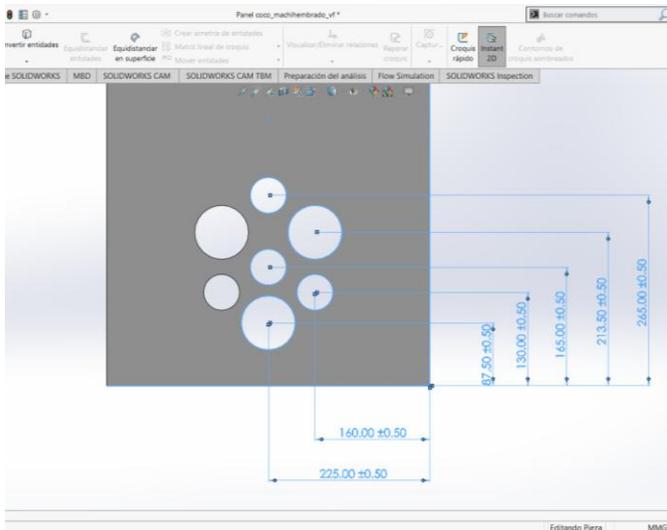
**Figura 16** Modelo 1.



*Nota.* Modelo 3D del panel palmera en SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

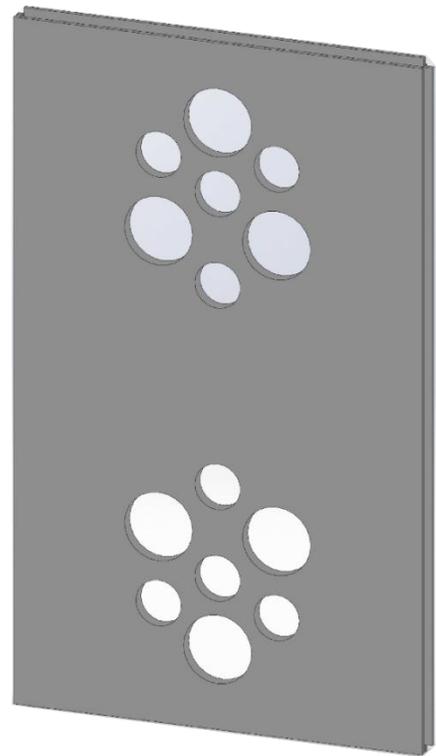
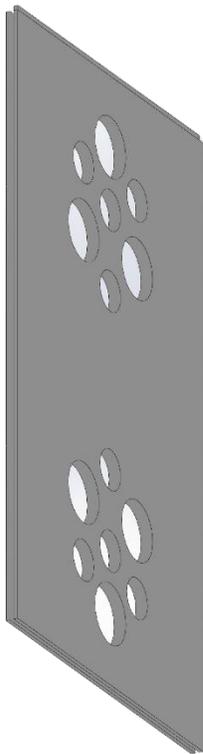
El procedimiento descrito es realizado para cada uno de los tres diferentes diseños propuestos.

**Figura 18** *Proceso de modelo 2.*



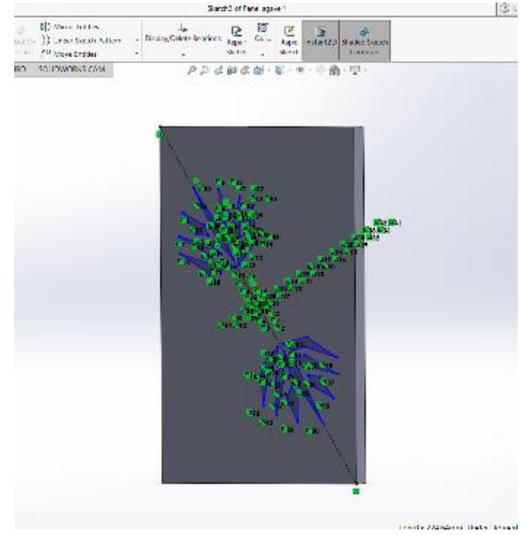
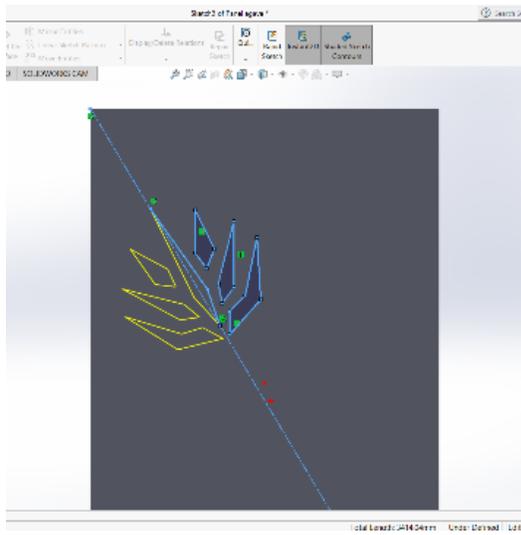
*Nota.* La figura muestra parte del proceso de trazo de diseño, simetría y extrusión del modelado 3D del panel coco dentro del software SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

**Figura 17** *Modelo 2.*



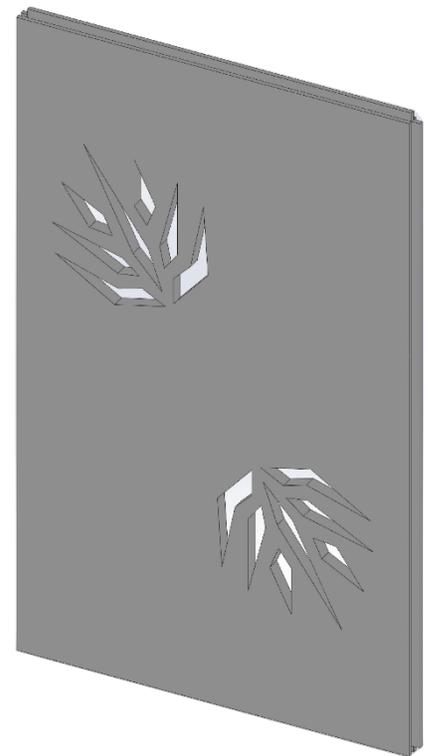
*Nota.* Modelo 3D del panel coco en SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

**Figura 19** *Proceso de modelo 3.*



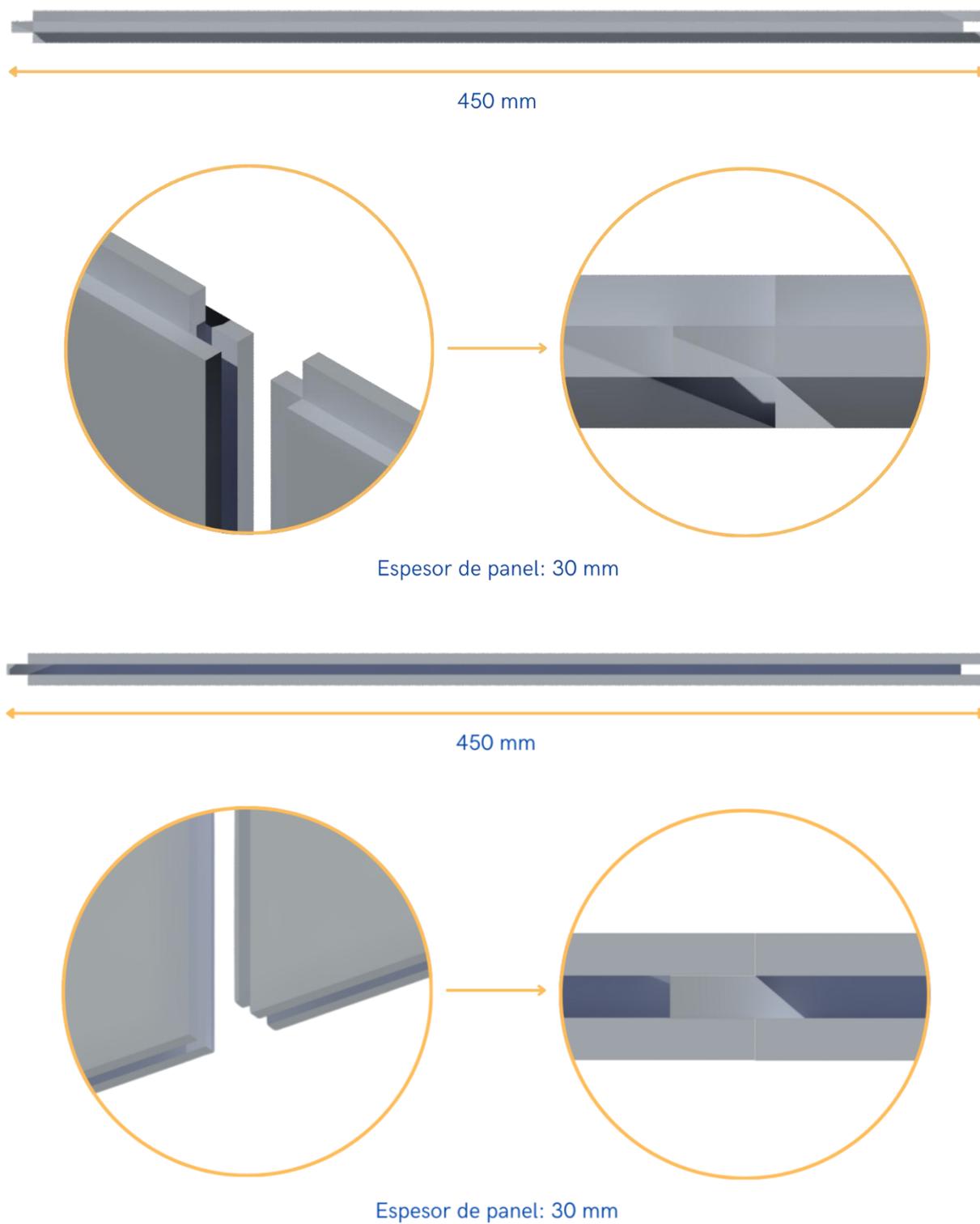
*Nota.* La figura muestra parte del proceso de trazo de diseño, simetría y extrusión del modelado 3D del panel agave dentro del software SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

**Figura 20** *Modelo 3.*



*Nota.* Modelo 3D del panel agave en SolidWorks. Fuente: Propia (2023).

Figura 21 *Detalle de machihembrado.*



*Nota.* La figura muestra a detalle el machihembrado y unión del panel, tanto de la vista superior como de la vista inferior. Fuente: Propia (2024).

### 3.3.1 Recomendación de aplicaciones

Las aplicaciones que como ingeniero en diseño se recomiendan para el uso del panel en la industria de la construcción son como elementos decorativos:

- En interiores, como muros divisorios en baños, cocinas, cuartos de lavado.
- En exteriores, como elementos de fachadas, bardas, barandales.

Para la representación gráfica se hace uso de un plano en AutoCAD, software de diseño asistido por computadora para dibujo 2D y modelado 3D, el cual sirve como base guía para el trazo del levantamiento de muros dentro del software Revit, software de modelado de información de construcción.

**Figura 22** *Render uso de paneles.*



*Nota.* En la figura se visualiza el uso del panel con diseño de coco como barandal y el panel con diseño de agave como barda, empleando el software Revit. Fuente: Propia (2024).

**Figura 23** *Render interior.*



*Nota.* Se visualiza el uso del panel con diseño de palma como muro divisorio dentro del interior de la vivienda, empleando el software Revit. Fuente: Propia (2024).

**Figura 24** *Render exterior.*



*Nota.* La figura muestra el exterior de la vivienda donde se visualiza el uso del panel con diseño de agave y coco, empleando el software Revit. Fuente: Propia (2024).



# **CAPÍTULO IV** DESARROLLO



Esta investigación se concentra en estudiar las causas o los efectos de un determinado hecho por medio de pruebas logrando explicar el significado de un aspecto de la realidad a partir de teorías que se toman como referencia.

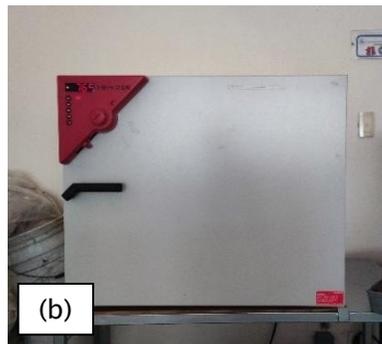
#### 4.1 Hipótesis

Es factible elaborar un panel con polvo de cáscara de coco y ceniza de bagazo de agave como alternativa de uso en la industria de la construcción.

#### 4.2 Instrumentos y equipo

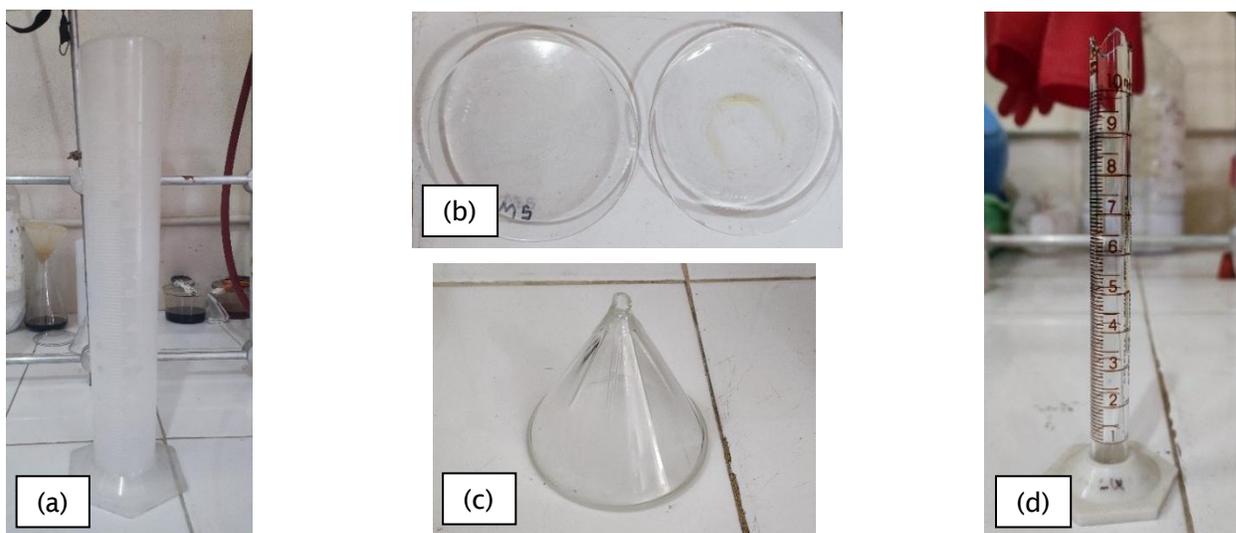
Dentro de las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca se cuenta con:

**Figura 25 Maquinaria.**



*Nota.* (a) Triturador Bio 100. (b) Horno de secado Binder. (c) Maquina a compresión PILOT COMPACT-Line de 1500 kN. Fuente: Propia (2022).

**Figura 26 Instrumentos de laboratorio.**



*Nota.* (a) Probeta de polipropileno. (b) Vidrio reloj. (c) Embudo de vidrio. (d) Probeta de vidrio.  
Fuente: Propia (2022).

**Figura 27 Moldes y tamices.**



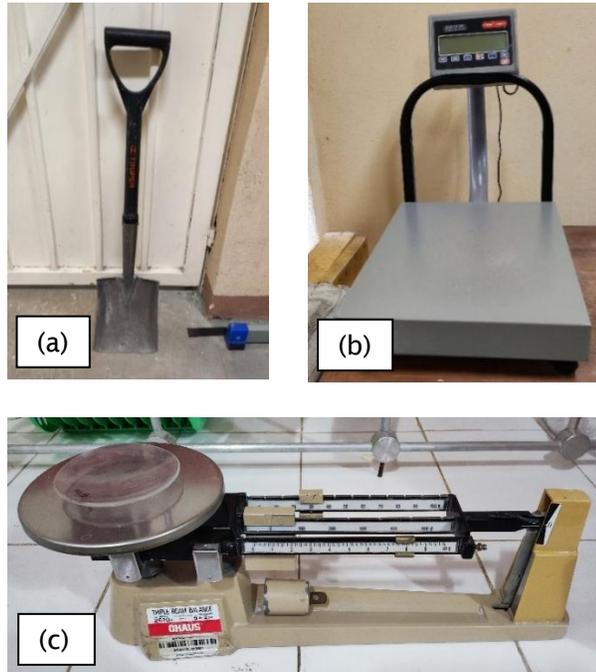
*Nota.* (a) Moldes para horno. (b) Molde para probetas. (c) Tamiz número 4 y16. Fuente: Propia (2022).

**Figura 28 Material de apoyo.**



*Nota.* (a) Recipientes. (b) Guantes térmicos. Fuente: Propia (2022).

**Figura 29 Herramientas adicionales.**



**Nota.** (a) Pala. (b) Balanza mecánica. (c) Báscula digital. Fuente: Propia (2022).

Otras herramientas por emplear son:

- Espátula
- Maso de goma
- Varilla lisa
- Varilla con punta de goma
- Pinza mecánica
- Llave mecánica
- Plastilina
- Agente desmoldante

### 4.3 Materiales

En la figura 30 se observan los materiales a emplear para el desarrollo de esta investigación como lo son las cáscaras de coco, las cuales fueron recolectadas de las calles de la población de Stgo. Pinotepa Nacional, el bagazo de agave, el cual proviene de una mezcalera ubicada en la población de Stgo. Matatlán, el cemento, fue proporcionado por la Universidad Tecnológica de la Mixteca, al igual que la arena y el agua se obtuvieron dentro de sus instalaciones.

**Figura 30** *Materiales.*



*Nota.* (a) Cáscaras de coco. (b) Bagazo de agave. (c) Cemento. (d) Arena. (e) Agua. Fuente: Propia (2022).

Se realiza el acondicionamiento de las materias orgánicas para que puedan ser empleadas adecuadamente en la mezcla, como se observa en la figura 31. Para las cáscaras de coco esto consiste en el lavado para eliminar los azúcares, mismos que retardan el fraguado de la mezcla, posteriormente el secado y tueste al sol, luego se realiza la molienda para así poder obtener el polvo.

**Figura 31** *Acondicionamiento de las cáscaras de coco.*



*Nota.* Proceso de lavado, secado y molienda de las cáscaras de coco. Fuente: Propia (2022).

Dado que, de la molienda de las cáscaras de coco por medio del triturador, aparte de haber obtenido el polvo, se han obtenido fibras, para separar el PCC de las fibras, se procede a tamizar el material utilizando el tamiz número 16, como se muestra en la figura 32.

**Figura 32** *Proceso de tamizado.*



*Nota.* Producto obtenido de la molienda y proceso de tamizado. Fuente: Propia (2022).

Para el bagazo de agave, al haberse obtenido húmedo por el proceso de destilación, se procede a ser secado en el horno a 110° por 24 horas, tal como se aprecia en la figura 33, posteriormente se extiende sobre una superficie plana esperando a que tome la temperatura ambiente para luego ser almacenado en tambos de plástico mientras se realiza otra ronda de secado.

**Figura 33** Acondicionamiento del bagazo de agave.



*Nota.* La figura muestra el proceso de secado y almacenamiento del bagazo de agave. Fuente: Propia (2022).

Posterior, el bagazo de agave seco se incinera dentro de un tambo de metal para así poder obtener la CBA.

**Figura 34** Ceniza.



*Nota.* La figura muestra la ceniza obtenida. Fuente: Propia (2022).

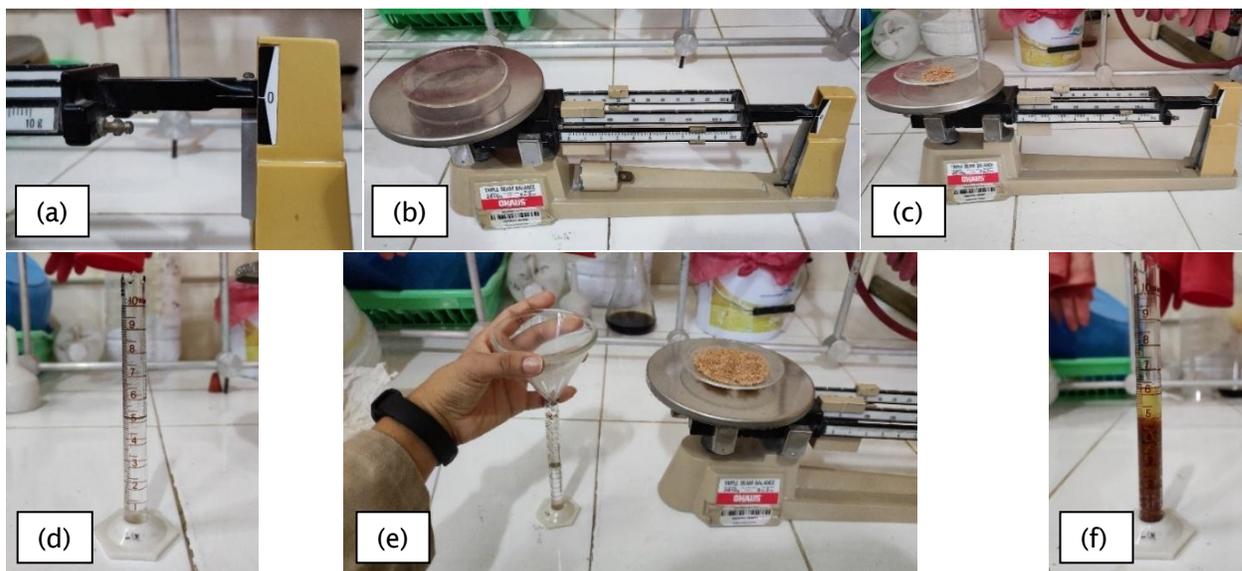
#### 4.4 Ensayo de caracterización: absorción y densidad

De acuerdo con la norma ASTM C 128-07 se define a la absorción como el incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un periodo de tiempo preestablecido, no incluye el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, se expresa como porcentaje de la masa seca; y define a la densidad como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico.

Para caracterizar al PCC y a la CBA se realiza el ensayo para obtener la absorción y densidad, se puede observar el proceso tanto en la figura 35 como en la figura 36, esto consiste en los siguientes pasos:

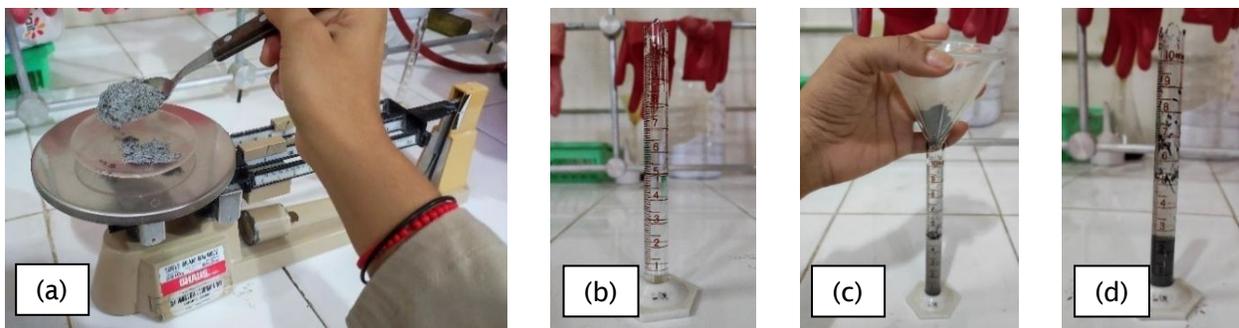
1. Alinear la balanza.
2. Tomar el peso del vidrio reloj.
3. Colocar la cantidad requerida de PCC o CBA (en este caso, 0.5 g) sobre el vidrio reloj.
4. Verter 5 ml de agua en el interior de la probeta.
5. Agregar el PCC o la CBA a la probeta con ayuda de un embudo. Dejar reposar durante 24 horas, tomando mediciones en periodos de tiempo determinados para registrar los cambios durante el proceso.
6. Tomar el dato final del ensayo después del tiempo de reposo.
7. Realizar las operaciones necesarias para obtener los resultados finales de absorción y densidad. Estos cálculos se encuentran detallados en la página 88, dentro del apartado de anexos.

**Figura 35** *Ensayo de caracterización de la PCC.*



*Nota.* La imagen muestra el proceso de caracterización para el PCC; (a) Alineamiento de la balanza. (b) Peso del vidrio reloj. (c) Peso del PCC. (d) Vaciado de agua a la probeta. (e) Agregado del PCC a la probeta con agua. (f) Reposo. Fuente: Propia (2022).

**Figura 36** *Ensayo de caracterización del CBA.*



*Nota.* La imagen muestra el proceso de caracterización para la CBA; (a) Peso de la CBA. (b) Vaciado de agua a la probeta. (c) Agregado de CBA a la probeta con agua. (d) Reposo. Fuente: Propia (2022).

#### 4.5 Diseño de mezcla de mortero con PCC y con CBA

En la tabla 3 se establece una matriz de composición del diseño de mezcla para contenido de CBA a 10%, 20% y 30% y contenido de PCC a 1%, 2% y 3%; para esto se calcula el volumen de los moldes para probetas y se designan las cantidades a emplear de cada material.

**Tabla 3** *Diseño de mezclas CP100, CBA y PCC, peso por metro cúbico.*

Mezcla	Agua (lt)	Cemento (kg)	CBA (kg)	Arena (kg)	PCC (kg)
CP100	365.55	812.22	0	1077.77	0
CBA10	365.55	731.11	81.11	1077.77	0
CBA20	365.55	650	162.22	1077.77	0
CBA30	365.55	567.77	244.44	1077.77	0
PCC1	365.55	812.22	0	1067	10.77
PCC2	365.55	812.22	0	1056.22	21.55
PCC3	365.55	812.22	0	1045.44	32.33

*Nota.* Se muestran las cantidades de cada materia que conforman cada mezcla. Fuente: Propia (2022).

#### 4.6 Elaboración de mezcla

Es importante mencionar que el diseño de este proyecto además de ser basado en lo teórico su esencia radica también en lo experimental que, de acuerdo con Hernández Sampieri la metodología utilizada, se refiere a un estudio en el que se manipula la materia, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre las variables. De tal manera que un experimento tiene al menos dos acepciones, así lo indica una general y otra particular. La general se refiere a elegir o realizar una acción y después observar las consecuencias (Babbie, 2014, citado en Hernández, 2014).

Un primer requisito en la experimentación es la manipulación intencional de una o más variables independientes. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente.

El segundo requisito consiste en medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente, y como en la variable dependiente se observa el efecto, la medición debe ser adecuada, válida y confiable.

Como tercer requisito se tiene el control o la validez interna de la situación experimental, es decir, saber qué está ocurriendo realmente con la relación entre las variables independientes y las dependientes. Lo que implica contener la influencia de otras variables extrañas en las variables dependientes, para conocer en realidad si las variables independientes que son de interés tienen o no efecto en las dependientes.

**Tabla 4** Variable independiente: PCC.

Conceptualización	Dimensión	Indicadores	ÍTEM	Técnicas e Instrumentos
El coco está formado por tres capas, a las cuales se les realizan procesos industriales. El valor que se le da está en su contenido de fibra, la cual se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima como agregado en la elaboración de mortero.	Forma de la fibra de cáscara de coco	Forma	¿Cuál será la forma de la fibra de cáscara de coco empleada en el mortero?	Observación: Polvo
	Fibra de cáscara de coco	Cantidad	¿Cuál será la cantidad necesaria de PCC?	Observación: Análisis en laboratorio. Porcentajes mínimos

*Nota.* Operacionalización de la variable independiente. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 5** *Variable independiente: CBA.*

<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
El agave es en forma de roseta con hojas carnosas a los cuales se les realizan procesos industriales, el valor que se le da está en su contenido de bagazo, el cual se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima como agregado en la elaboración de mortero.	Forma del bagazo de agave	Forma	¿Cuál será la forma del bagazo de agave empleada en el mortero?	Observación: Ceniza.
	Bagazo de agave	Cantidad	¿Cuál será la cantidad necesaria de CBA?	Observación: Análisis en laboratorio. Porcentajes mínimos

*Nota.* Operacionalización de la variable independiente. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 6** *Variable dependiente: Resistencia a compresión.*

<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
Los ensayos de resistencia a compresión se efectúan para determinar la calidad del mortero es decir la capacidad de soporte, una buena resistencia, puede depender de los agregados o de la elaboración de la mezcla.	Ensayo de compresión	Materiales	¿Cuál será el resultado del ensayo a compresión?	Observación: Agregados. Máquina de compresión.
		Equipo		
	Calidad del mortero	Muestreo	¿Cuál es el asentamiento mínimo?	Observación: NMX-C-061
		Calidad	¿Qué factores inciden en la resistencia a compresión del mortero?	Observación: Preparación. Llenado. Tiempo de espera.

*Nota.* Operacionalización de la variable independiente. Fuente: Propia (2022).

El desarrollo experimental llevado a cabo para la elaboración de mezcla se describe a continuación:

1. Para la mezcla con contenido de PCC, primero se habilita el PCC, para ello, se pesa la cantidad de PCC equivalente al porcentaje en sustitución a la arena, como se designa en la tabla 13, se deja reposar en agua por 48 horas y posteriormente se vierte sobre una coladera para escurrir el agua sobrante, tal como se observa en la figura 37.

**Figura 37** *Reposo y escurrimiento.*



*Nota.* La figura muestra el proceso del reposo del PCC en agua y el proceso de escurrimiento del agua sobrante. Fuente: Propia (2023)

2. Con ayuda de la pala se coloca arena dentro del tamiz número 4, enseguida se coloca el tamiz con arena sobre un recipiente y se realizan movimientos que ayuden a pasar la arena por la malla, (Figura 38a), el sobrante se coloca hacia un lado al suelo y se repite el proceso hasta tener la cantidad de arena tamizada que se requiere.
3. Debido a que la arena se encuentra húmeda, para secarla se vierte en los moldes y posteriormente se coloca dentro de un horno desecador como el que se presenta en la figura 38c. Por norma el proceso de horneado debe durar 24 horas y alcanzar la temperatura de 105°C (Figura 38d).
4. Posterior al proceso de secado, con ayuda de los guantes térmicos se retiran los moldes del horno, y se dejan hasta alcanzar la temperatura ambiente (Figura 38e).

**Figura 38** *Acondicionamiento de la arena.*



*Nota.* (a) Tamizado de arena. (b) Vaciado de arena a moldes. (c) Materia en horno. (d) Proceso de horneado/secado. (e) Materia en reposo. Fuente: Propia (2022).

5. Se ensamblan los moldes con ayuda de los tornillos, llave y pinza mecánica, posteriormente se coloca plastilina en la unión de la base, y luego se coloca el agente desmoldante por dentro del molde y en las orillas.

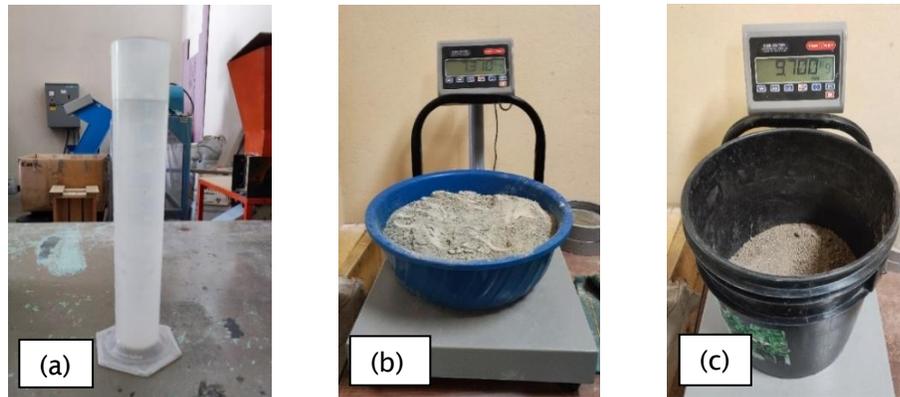
**Figura 39** *Molde habilitado.*



*Nota.* La figura muestra el molde listo para vaciar la mezcla. Fuente: Propia (2022).

6. Se procede a pesar los materiales, se miden la cantidad de litros de agua requerida (Figura 40a); se pesa la cantidad requerida de cemento Portland, (Figura 40b); se pesa la cantidad requerida de arena (Figura 40c); para la mezcla PCC, se pesa el PCC equivalente al porcentaje de sustitución a la arena y para la mezcla CBA se pesa la CBA equivalente al porcentaje de sustitución al cemento.

**Figura 40** *Peso de las materias.*



*Nota.* (a) Medición de litros de agua. (b) Peso del cemento. (c) Peso de la arena. Fuente: Propia (2022).

**Figura 41** *Área de trabajo.*

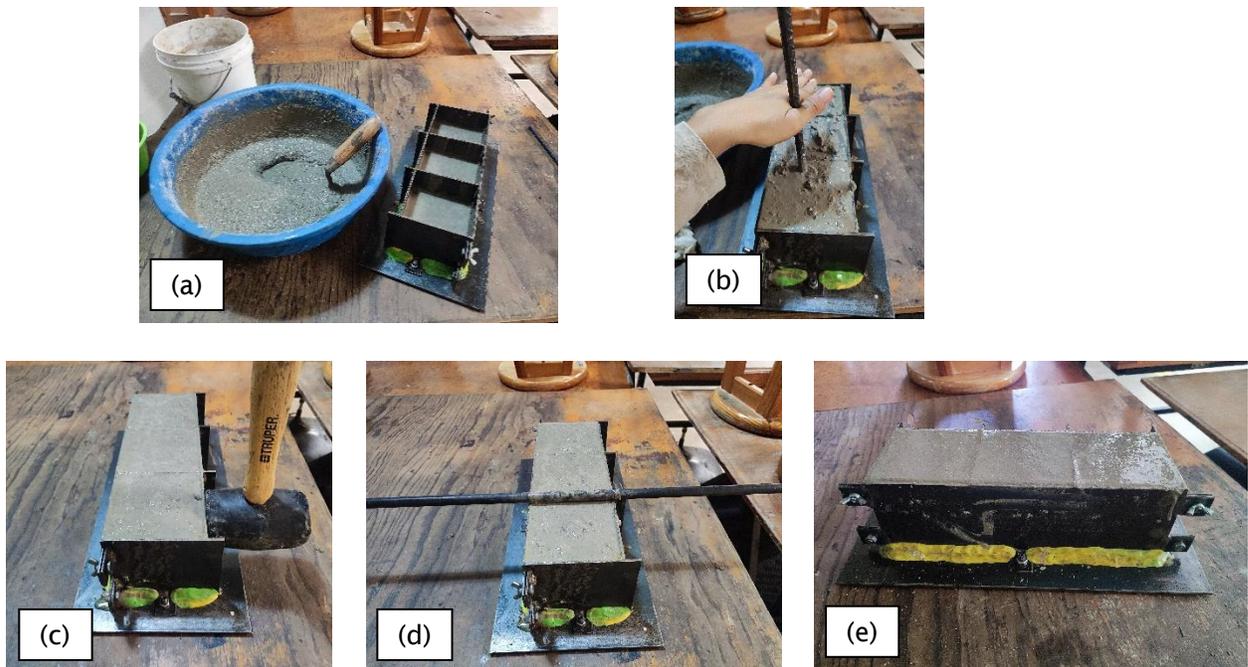


*Nota.* Proceso de elaboración de mezcla. Fuente: Propia. (2022).

7. Se habilita el área de trabajo, como se observa en la imagen 41, colocando la lona sobre el piso, y acercando los materiales a emplear para el desarrollo de la mezcla, vaciando el cemento Portland dentro del recipiente que contiene agua, para la mezcla PCC se agrega la arena y por último se vacía el PCC; para la mezcla CBA después del cemento se agrega la CBA y por último la arena, en todo momento se realiza el paleo para mezclar las materias hasta obtener la consistencia homogénea.

8. La mezcla se vierte en el molde (Figura 42a), el proceso consiste en verter mezcla a dos capas, es decir, el molde se llena a la mitad, y como proceso de vibrado se dan 25 varillazos (Figura 42b), y 3 golpes con el mazo de goma en cada una de las paredes (Figura 42c), luego se llena el resto del molde y se repite el proceso de vibrado, procurando que la mezcla se compacte, posteriormente con la varilla se alisa la superficie (Figura 42d). Se coloca el molde en una superficie plana, y se deja por 24 horas para el proceso de fraguado (Figura 42e).

**Figura 42** Vaciado de mezcla.



*Nota.* (a) Primer capa de vaciado. (b) Varillazos. (c) Golpes con mazo. (d) Alisado. (e) Fraguado.  
Fuente: Propia (2023).

9. Se procede a desmoldar las probetas, como se observa en la figura 43, con ayuda de una espátula se retira la plastilina, con la pinza y llave mecánica se quitan los tornillos permitiendo retirar las placas de metal del molde. Por último, se escribe en la probeta el nombre y fecha de elaboración, para luego ser almacenada hasta su fecha de ensayo en la máquina a compresión.

**Figura 43** *Desmolde.*



*Nota.* La figura muestra el proceso de desmolde de las probetas. Fuente: Propia (2023).

#### 4.7 Ensayo de resistencia a compresión

La investigación está fundamentada en la realización de pruebas de laboratorio para comparar un mortero convencional con un mortero con las mismas características, pero con PCC y CBA en porcentajes de 1, 2, 3 y 10, 20, 30 respectivamente, para los cuales se realizaron ensayos de resistencia a compresión a 28 días para las probetas PCC y a 21, 28 y 56 días para las probetas CBA, obteniendo datos reales para analizar la factibilidad del mortero con materia orgánica.

**Tabla 7** *Plan de recolección de datos para ensayo de resistencia a compresión.*

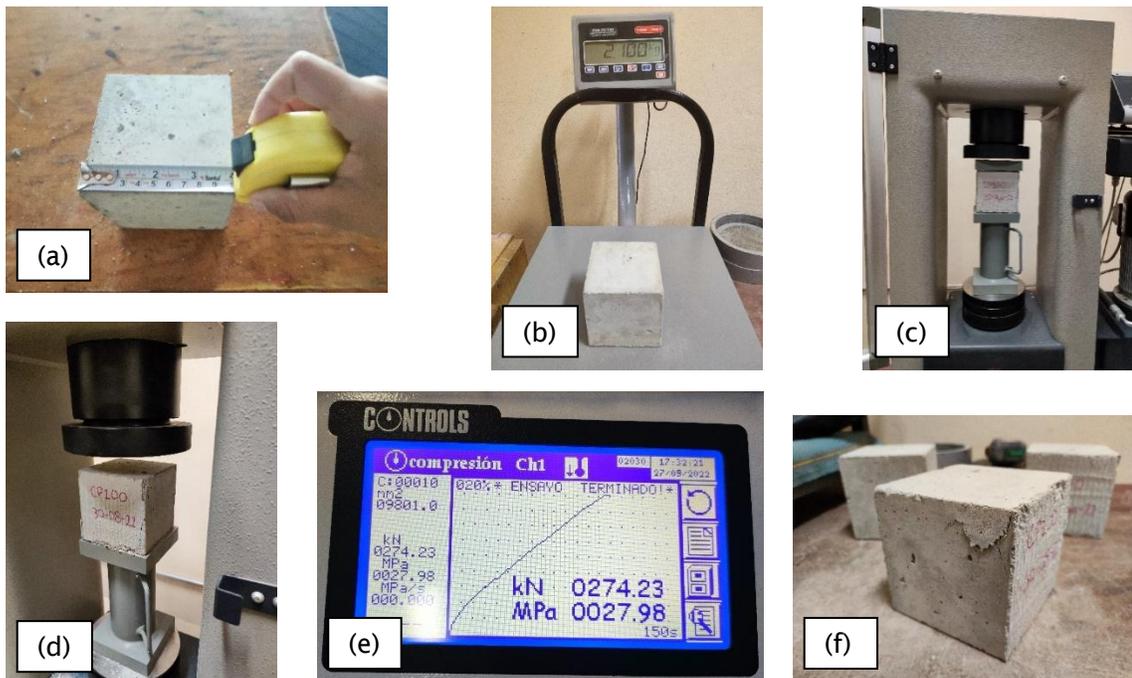
<b>Preguntas</b>	<b>Explicación</b>
<b>¿Para qué?</b>	Estudiar como el PCC y la CBA como material en el mortero incide en la resistencia a compresión.
<b>¿De qué objetos?</b>	De probetas de mortero incluyendo el PCC y la CBA como parte del agregado fino.
<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	Resistencia a compresión del mortero.
<b>¿Quién?</b>	El investigador.
<b>¿Dónde?</b>	En el laboratorio de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
<b>¿Cómo?</b>	Realizando ensayos en el laboratorio.

*Nota.* Plan por seguir para la recolección de información cuando se realice el proceso de experimentación. Fuente: Propia (2022).

La resistencia a compresión es medida por medio de una prensa, la cual aplica carga axial sobre la superficie de la probeta hasta su rotura, en condiciones que exige la NMX-C-061-ONNCCE-2015, determinando de esta manera el esfuerzo máximo y el patrón de falla.

Para llevar a cabo el ensayo a compresión, es necesario tener la masa y dimensiones de cada probeta, para tener un control de calidad, además, de que estos datos se introducen en la máquina de compresión para obtener un resultado preciso, este proceso se observa en la figura 44, y los datos obtenidos de este ensayo para cada probeta elaborada se encuentran detallados en el apartado de anexos, en las páginas 89 a 91.

**Figura 44** *Proceso de ensayo a compresión.*



*Nota.* (a) Medición de probetas. (b) Masa de probetas. (c) Ensayo a compresión. (d) Retiro de probeta. (e) Resultado de ensayo. (f) Probetas ensayadas. Fuente: Propia (2022-2023).

#### 4.8 Elaboración del panel

Se realiza un nuevo diseño de mezcla, esto para observar la diferencia de los pesos y la trabajabilidad de las mezclas, para ello se elaboran siete relaciones a/c que va de 0.4 hasta 1.

**Tabla 8** *Diseño de mezcla, peso por metro cúbico.*

Relación a/c	Cemento (kg)	Agua (lt)	PCC (kg)	Peso por probeta (kg)
0.4	1086	434	86	1.205
0.5	1086	543	130	0.947
0.6	1086	652	217	0.680
0.7	1086	760	260	0.663
0.8	1086	869	347	0.526
0.9	1086	978	434	0.383
1	1086	1086	478	0.159

*Nota.* Se muestran las cantidades de cada material que compone la mezcla y el peso final de cada probeta realizada. Fuente: Propia (2024).

##### 4.8.1 Molde

Se opta por un molde hecho de triplay de 5 mm de grosor, resulta ser sencillo pero factible para la elaboración del panel, a futuro puede ser fabricado con metal para poder tener una producción en masa; el molde consta de 5 piezas, cuatro de ellas irán ensambladas para poder formar el marco, mismo que dará forma al machihembrado del panel. El proceso se describe a continuación:

1. En la placa de triplay se trazan las medidas de las piezas requeridas para el molde. Posteriormente se cortan utilizando la sierra caladora.
2. Para poder obtener el macho y hembra en los laterales del panel, y debido a que la placa de triplay tiene como grosor 5mm, es necesario cortar 3 piezas para cada lateral y luego ser pegadas una sobre otra.

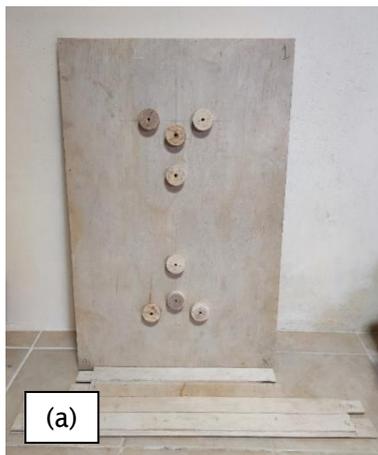
**Figura 45** *Piezas del molde.*



*Nota.* Piezas para el molde. Fuente: Propia (2024).

3. Se cortan los círculos de madera que serán útiles para dejar el vacío en el panel a la hora de desmoldar, formando el diseño del racimo de cocos. En el boceto y modelo original, el diseño contempla siete orificios, sin embargo, en la ejecución del molde actual se incorporan únicamente cuatro orificios debido a limitaciones técnicas y optimización de recursos disponibles. La posición de los orificios se traza sobre la placa base, y se fijan con pegamento blanco y clavos de 1 ½”.

**Figura 46** Molde armable.



*Nota.* (a) Piezas que conforman al molde (b) Molde armado. Fuente: Propia (2024).

4. Finalmente, por la parte trasera de la placa base se coloca un marco para dar soporte, y se da una capa de aceite quemado a cada una de las piezas, como se observa en la figura 47, para que, a la hora de vaciar la mezcla la madera no absorba el agua, posteriormente se deja reposar durante 24 horas.

**Figura 47** Molde cubierto de aceite.



*Nota.* Se muestran las piezas del molde bañadas en aceite quemado. Fuente: Propia (2024).

#### 4.8.2 Vaciado y desmolde

El proceso se realiza de la siguiente manera:

1. Se ensamblan las piezas que conforman al molde, se coloca plastilina alrededor para mantenerlo fijo y que no existan fugas de la mezcla.
2. Se pesa la cantidad requerida de los materiales, cemento Portland, arena, PCC y se mide la cantidad de litros de agua requerida.
3. Se habilita el área de trabajo y se prepara la mezcla de mortero, vaciando el cemento Portland dentro del recipiente que contiene agua, se agrega la arena y por último se agrega el PCC, en todo momento se realiza el paleo para mezclar homogéneamente todos los materiales.
4. Cuando la mezcla está lista se vacía en el molde y se deja fraguar por 24 horas.
5. Como se observa en la figura 48, se retira la plastilina y cada pieza lateral del molde, dado que para este tiempo el panel se encuentra aún fresco para ser desmoldado por completo se deja secar bajo el sol solo sobre la base por 24 horas más.

**Figura 48** Desmolde del panel (1).



*Nota.* En la figura se observa parte del proceso del desmolde del panel. Fuente: Propia (2024).

6. Posteriormente, ya que la pieza se encuentra seca se retira la base del molde para así obtener el panel, tal como se muestra en la figura 49 y en la figura 50.

**Figura 49** Desmolde del panel (2).



*Nota.* En la figura se observa parte del proceso del desmolde del panel y el machihembrado. Fuente: Propia (2024).

**Figura 50** Panel.



*Nota.* Se muestra el panel obtenido. Fuente: Propia (2024).



# **CAPÍTULO V** REPORTE DE RESULTADOS



### 5.1 Caracterización fisicoquímica del PCC y de la CBA

Se caracterizó de manera física el PCC y CBA de acuerdo con la normativa vigente, dichos resultados se muestran en la tabla 9 de donde se puede observar que la CBA tiene una absorción de agua de 0.2%. Por su parte, el 60% de absorción del PCC puede ser aprovechado en estudios de curado interno y facilitar la hidratación de la CBA, así como ayudar a mitigar el calor de hidratación generado y por ende reducir el agrietamiento en elementos prefabricados. Los valores de densidad  $2.5 \text{ g/cm}^3$  de la CBA y  $0.277 \text{ g/cm}^3$  del PCC ayudan a reducir el peso de los paneles propuestos principalmente en el caso del uso del PCC, hay que recordar que el peso es una variable muy importante para considerar en la elaboración de paneles prefabricados.

**Tabla 9** Principales características físicas del PCC y de la CBA.

Muestra	PCC (g)	Agua (ml)	Valor de absorción (%)	Valor de densidad ( $\text{g/cm}^3$ )
PCC	0.5	5	60	0.277
CBA	0.5	5	0.2	2.5

*Nota.* Se muestran los datos obtenidos del ensayo de absorción y densidad. Fuente: Propia (2022).

La tabla 10 muestra la caracterización química de la CBA, resultados obtenidos mediante revisión bibliográfica, en dicha tabla se observa el efecto de la temperatura en la composición química, es importante mencionar que en las empresas mezcaleras el agave se produce entre  $500^\circ \text{C}$  y  $550^\circ \text{C}$  por lo cual es de esperar una composición química entre la reportada para el CBA500 y CBA600, para fines de procesos cementicios es de interés el 64% de CaO (óxido de calcio), el 1.5% del  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silicio) y el 0.23% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (óxido de hierro), aunque por su contenido el  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tienen aportaciones despreciables en la ganancia de resistencia, no así el CaO tiene amplias posibilidades de reaccionar con el cemento utilizado y aportar a la ganancia de la resistencia, a su vez el  $\text{K}_2\text{O}$  (óxido de potasio) y el MgO (óxido de magnesio) son conocidos compuestos alcalinos que pueden ser tanto beneficiosos como perjudiciales dentro del concreto, por lo que sería interesante un estudio de durabilidad particular para estos elementos, ya que por una parte está documentado que dichos compuestos protegen al acero

de refuerzo embebido en concreto de la corrosión pero también son propensos a reaccionar con agregados base sílice o carbonatos amorfos y generar reacción alcalinice la cual es nociva para el concreto.

**Tabla 10** *Caracterización química de la CBA.*

<b>Parámetro</b>	<b>CBA500 Valor (%)</b>	<b>CBA600 Valor (%)</b>	<b>CBA700 Valor (%)</b>	<b>CBA800 Valor (%)</b>	<b>CBA900 Valor (%)</b>
<b>MgO (Óxido de magnesio)</b>	16.133	16.182	7.945	6.401	-
<b>SiO<sub>2</sub> (Dióxido de silicio)</b>	1.452	1.451	1.416	1.468	1.341
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Óxido de fósforo)</b>	3.674	3.452	2.558	1.845	-
<b>SO<sub>3</sub> (Óxido de azufre)</b>	0.762	0.777	0.721	0.702	-
<b>K<sub>2</sub>O (Óxido de potasio)</b>	12.664	12.68	13.452	12.477	15.046
<b>CaO (Óxido de calcio)</b>	64.639	64.601	71.708	76.861	82.113
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Óxido de hierro)</b>	0.239	0.198	0.157	0.541	0.845
<b>SrO (Óxido de estroncio)</b>	0.111	0.110	1.153	0.143	0.167

*Nota.* Datos obtenidos de González et al. (2015).

Por su parte, en la tabla 11 se muestra la pérdida por ignición obtenida del CBA a distintas temperaturas, es decir, la pérdida de masa conforme se va quemando la materia esto se liga al carbón; de estos datos se puede rescatar que en la CBA500 y CBA600 permanece un alto contenido de materia orgánica que puede ser perjudicial en el uso de aditivos químicos.

**Tabla 11** *Pérdida por ignición.*

<b>Muestra</b>	<b>Valor (%)</b>
<b>CBA500</b>	28.50
<b>CBA600</b>	26.00
<b>CBA700</b>	23.76
<b>CBA800</b>	-
<b>CBA900</b>	-

*Nota.* Datos obtenidos de González et al. (2015).

La tabla 12 muestra la caracterización química del PCC en comparación con la madera y el bagazo de agave, se puede observar que la composición de dichas materias desde el punto de vista químico es muy parecida, lo cual es de esperarse ya que por conocimiento previo el PCC es madera pudiéndole atribuir propiedades al PCC similares al de la madera.

**Tabla 12** *Caracterización química del PCC, madera y bagazo de agave.*

<b>Parámetro</b>	<b>PCC Valor (%)</b>	<b>Madera Valor (%)</b>	<b>Bagazo de agave Valor (%)</b>
<b>Celulosa</b>	36	50	43
<b>Hemicelulosa</b>	25	25	19
<b>Lignina</b>	28	20-30	15
<b>Nitrógeno total</b>	-	0.8	3
<b>Pectinas</b>	-	-	1
<b>Grasas</b>	-	-	1
<b>Azúcares reductores</b>	-	-	5
<b>Cenizas</b>	5.54	0.2	6
<b>Otros</b>	5.46	3-7	2

*Nota.* Datos tomados de Dhyani y Bhaskar (2018), Rincón et al. (2016), Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] (2011) y Alonso y Rigal (1997).

La capa fibrosa del coco tiene un poder calorífico de 14,70 MJ/kg y constituye el 33% del fruto; regularmente es desechada como residuo sólido, por lo que podría usarse como biomasa. La capa dura posee un poder calorífico de 23,01 MJ/kg y constituye el 15 % del fruto, presentando poder calorífico más alto que la capa fibrosa (Laib, 2017). Se compone esencialmente de lignina y celulosa las cuales le atribuyen resistencia y rigidez al cual se le apunta como una de las fibras versátiles y fuertes de la naturaleza, es así como se suele utilizar con otros materiales como en el campo de la construcción para reforzar el mortero y bloques de mampostería, volviéndolos más resistentes y levemente más livianos.

La ceniza del bagazo de agave posee un poder calorífico de 21,76 MJ/kg y se detectan minerales como el magnesio, potasio y calcio, esto se debe a que la familia de las agaváceas genera como producto del metabolismo celular cristales de oxalato de calcio, y que resultan de

la acumulación intracelular de calcio, el cual permanece como minerales de calcio después del proceso de obtención de las cenizas. (León, 2017).

## 5.2 Trabajabilidad

Como se muestra en las figuras 51 y 52, en la mezcla de mortero se observa que debido a la sustitución del PCC previamente tratado, la trabajabilidad de las mezclas aumenta, en comparación a las mezclas con sustitución de CBA, donde la trabajabilidad disminuye al ir incrementando el porcentaje de adición de CBA.

**Figura 51** *Trabajabilidad PCC.*



*Nota.* Se muestra la diferencia de trabajabilidad en las mezclas que contienen 1% de PCC y 3% de PCC respectivamente. Fuente: Propia (2023).

**Figura 52** *Trabajabilidad CBA.*



*Nota.* Se muestra la diferencia de trabajabilidad en las mezclas CP100 y CBA30 respectivamente. Fuente: Propia (2022).

### 5.3 Resistencia a compresión

Para el desarrollo de procedimiento y obtención de los siguientes resultados se cumple con los estándares que exige la normativa vigente (NMX y ASTM). Para el análisis de estos resultados se realiza una comparación con respecto a la mezcla de mortero patrón.

La tabla 13 y gráfica 1 muestra los resultados de las probetas con CBA en donde se observa un resultado anormal para las probetas CP100, CBA20 y CBA30, en donde las tres mezclas perdieron resistencia en comparación con la resistencia obtenida a 21 días, este comportamiento no es común en mortero o concreto donde lo normal es que la resistencia se incremente con el tiempo hasta el día 28 para un cemento tipo I o que cuando menos se mantenga constante como de cierta manera se observó en las probetas CBA10 donde la resistencia para 21 y 28 días es prácticamente igual y a 56 días el incremento en la resistencia es prácticamente despreciable.

Volviendo al análisis de las probetas CP100, CBA20 y CBA30, esta tendencia a la pérdida de resistencia evidencia un deterioro del material en función del tiempo, lo cual en la literatura resulta difícilmente atribuible a los mecanismos de degradación más comunes, dado que se trata de un periodo de tiempo muy corto. No obstante, este tipo de fenómenos ya ha sido documentado por Obinna (2023), Khairallah (2009), Lidan et al. (2017), Aguirre y Mejía (2013), Baris y Hulusi (2004), en las cuales se atribuye la pérdida de resistencia mecánica a un proceso autodesecación interna y desecación externa, derivado de la insuficiencia de agua en la relación a/c inicial y durante el curado, lo que provoca microagrietamientos internos y la consecuente disminución de resistencia en mezclas con relaciones agua/material cementante bajas.

Para este estudio se tomó como referencia una relación a/c de 0.45, no obstante, por razones prácticas, se omitió la absorción de la arena, la cual, en casos de material calcáreo ronda de 1.3 a 1.9 de acuerdo con lo establecido en normas como la ASTM C 128-07 y la NMX-C-021-ONNCCE-2015. En teoría, esto afectaría la relación inicial entre 0.02 y 0.03, si a esto se suma una ligera pérdida de agua o la absorción del material sin calcinar proveniente de la CBA, se estima que la relación rondaría valores cercanos a los reportados en la literatura mencionada previamente. De cierta manera este comportamiento puede ser entendido a partir del

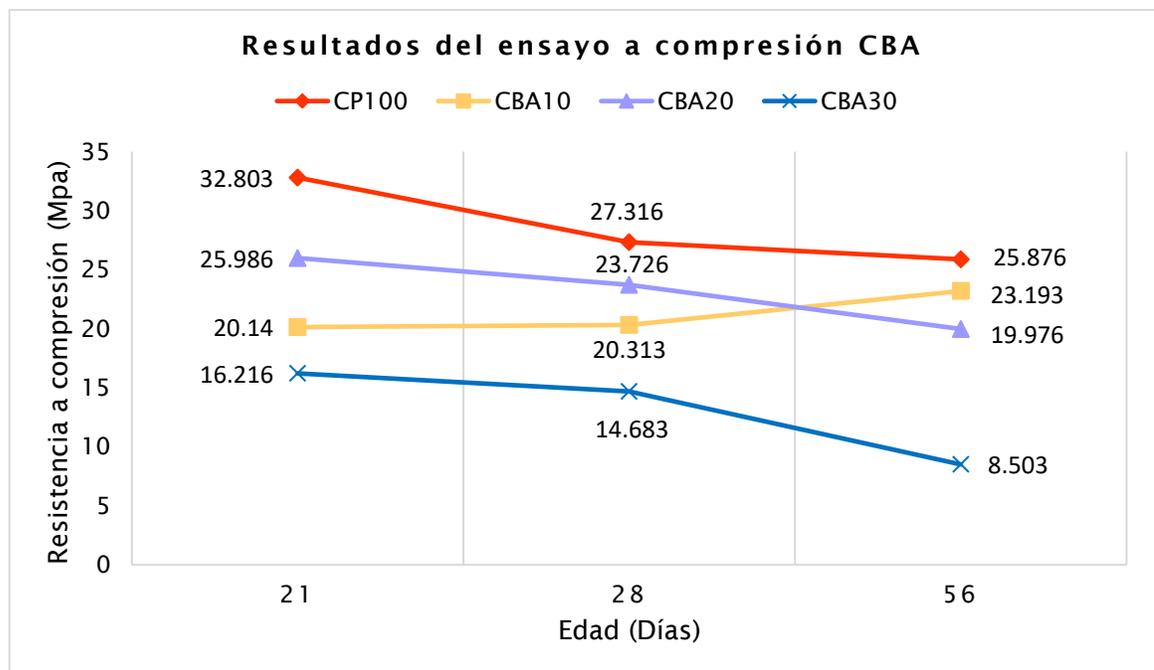
planteamiento inicial de este estudio, en el cual, se buscaba un lograr una interacción sinérgica entre el PCC y la CBA, con el objetivo de que el PCC funcionaria como un agente de curado interno para la hidratación del CP y de la CBA. Esto surgió a raíz de un estudio previo de Mayoral (2022), en el que se observaron dificultades para lograr una reacción puzolánica efectiva en condiciones de bajas relaciones a/c.

**Tabla 13** *Matriz de resultados de probetas con CBA.*

Edad (Días)	Probetas (Mpa)			
	CP100	CBA10	CBA20	CBA30
21	32.803	20.14	25.986	16.216
28	27.316	20.313	23.726	14.683
56	25.876	23.193	19.976	8.503

*Nota.* Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 10%, 20% y 30% de CBA en comparación con los resultados de las probetas patrón. Fuente: Propia (2022).

**Gráfica 1** *Resultados de las probetas con CBA.*



*Nota.* Se muestra la comparativa de los resultados de la tabla 13. Fuente: Propia (2022).

En la tabla 14 se muestran los resultados de las probetas con PCC donde se observa una notable disminución de la resistencia, no obstante, hay que indicar que el sustituir un 3% de PCC en volumen conlleva a una reducción del 27% en peso, como se observa en la tabla 15, por lo cual se debe comparar con los concretos ligeros y no con los concretos de peso normal, y dado que es un concreto ligero probablemente también sea un aislante, lo que resulta útil en los paneles.

**Tabla 14** *Matriz de resultados de las probetas con PCC.*

Edad (Días)	Probetas (Mpa)			
	CP100	PCC1	PCC2	PCC3
28	27.316	12.373	11.05	5.736

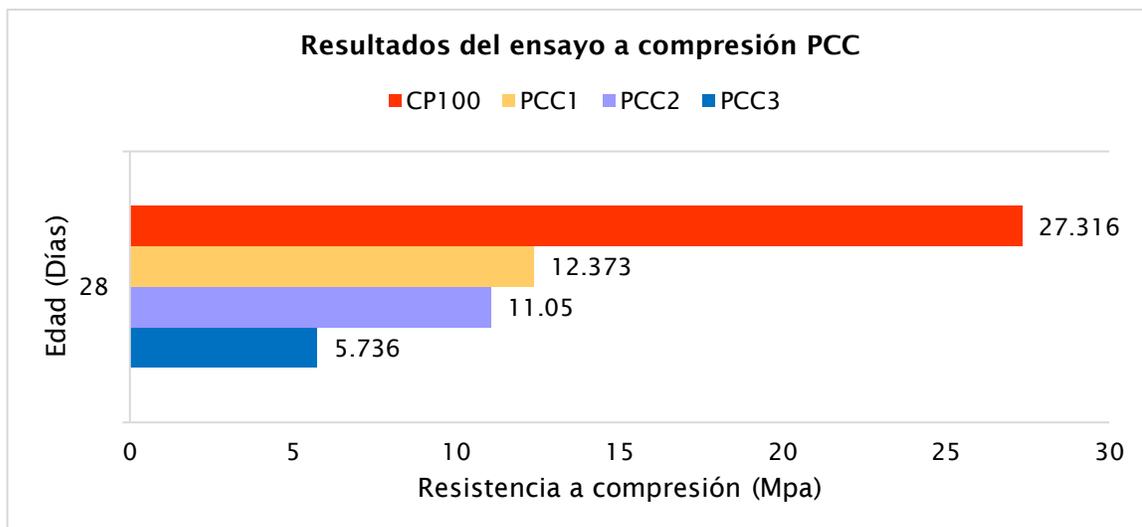
*Nota.* Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 1%, 2% y 3% de PCC en comparación con los resultados de las probetas patrón. Fuente: Propia (2023).

**Tabla 15** *Variación de pesos.*

Probeta	Peso promedio (kg)	Reducción en peso (%)
CP100	2.071	0
PCC1	1.78	14
PCC2	1.66	19
PCC3	1.50	27

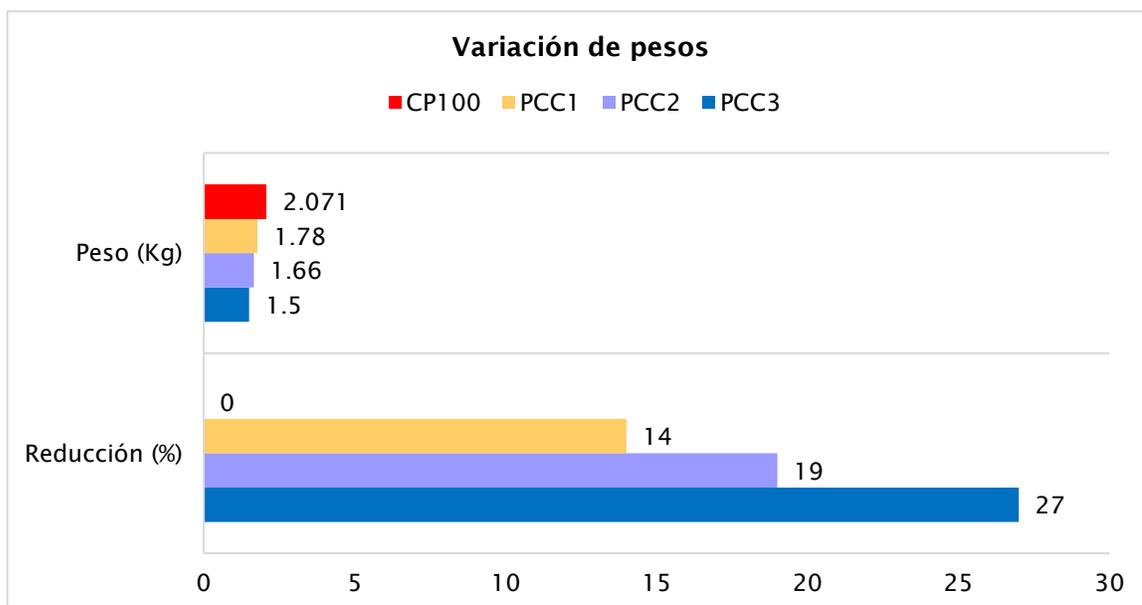
*Nota.* Se muestra la comparativa de los pesos entre las probetas patrón y las probetas con contenido de PCC. Fuente: Propia (2023).

**Gráfica 2** Resultados de las probetas con PCC.



*Nota.* Se muestran la comparativa de los resultados de la tabla 14. Fuente: Propia (2023).

**Gráfica 3** Variación de pesos.



*Nota.* Se muestran la comparativa de los resultados de la tabla 15. Fuente: Propia (2023).

La norma N-CMT-2-01-004/2 establece que la resistencia mínima que deberán de cumplir los morteros a los 28 días se encuentra en 4 MPa en morteros tipo III para que pueda ser considerado en aplicaciones estructurales.

**Tabla 16** Resistencia a compresión de morteros.

<b>Tipo</b>	<b>Resistencia mínima (Mpa)</b>
<b>I</b>	12.5
<b>II</b>	7.5
<b>III</b>	4.0

*Nota.* Se dan a conocer las resistencias de los morteros. Fuente: N-CMT-2-01-004/2 (2002).

Por lo que mediante los datos obtenidos se observa una mejor resistencia en los estudios realizados dentro de las probetas que contienen 1% de PCC con una relación a/c de 0.45, obteniendo una resistencia a compresión de 12.37 Mpa, dado que a mayor porcentaje de PCC en la mezcla, ésta tiende a perder resistencia, sin embargo, los resultados quedan dentro del rango solicitado por la norma N-CMT-2-01-004/2 (2002).

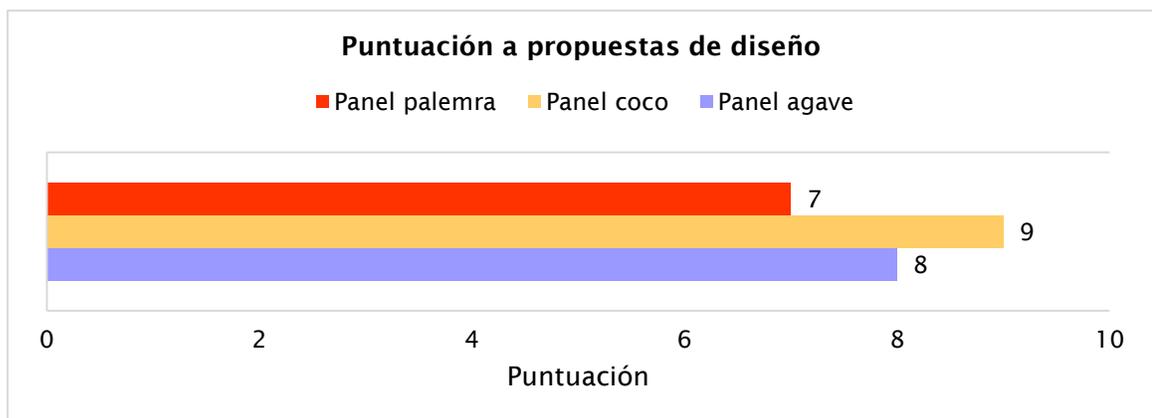
#### **5.4 Verificación de hipótesis**

Tras concluir la evaluación y analizar los resultados obtenidos mediante las matrices, se puede confirmar que es viable la elaboración de un panel utilizando polvo de cáscara de coco y ceniza de agave como una alternativa sostenible para la industria de la construcción.

### 5.5 Encuesta de diseño

Se realiza una encuesta de ocho preguntas dirigida a ingenieros en diseño y áreas afines, tanto a profesionales como a estudiantes del último año y últimos dos años de su carrera, en la que se evalúa el diseño de las tres propuestas presentadas, cabe agregar que para los respondientes el diseño propuesto de los paneles con machihembrado logra un equilibrio entre lo estético y funcional, valorando su capacidad para ser práctico manteniendo un aspecto visual atractivo. A su vez, mencionan que el proyecto de investigación refleja un compromiso con la sostenibilidad ambiental.

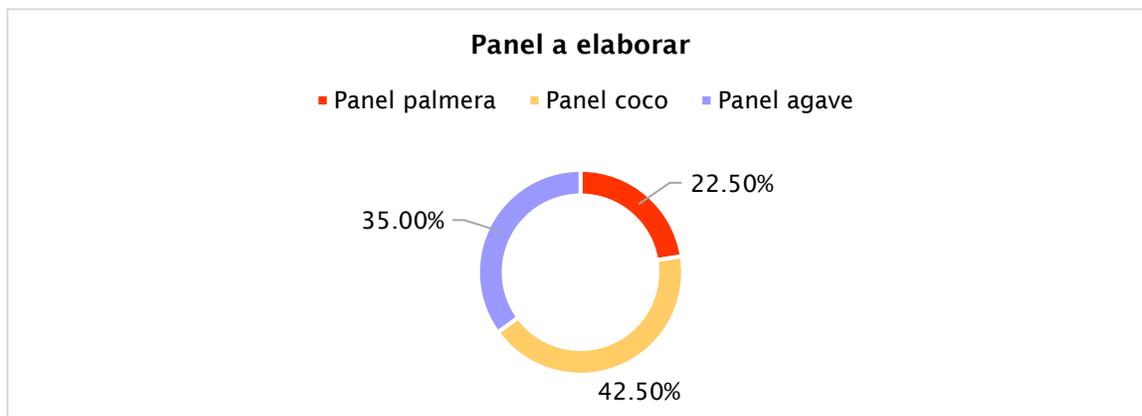
**Gráfica 4** *Puntuación.*



*Nota.* Resultados obtenidos para la pregunta uno, dos y tres de la encuesta, donde los respondientes califican las propuestas de diseño presentadas. Fuente: Propia (2024).

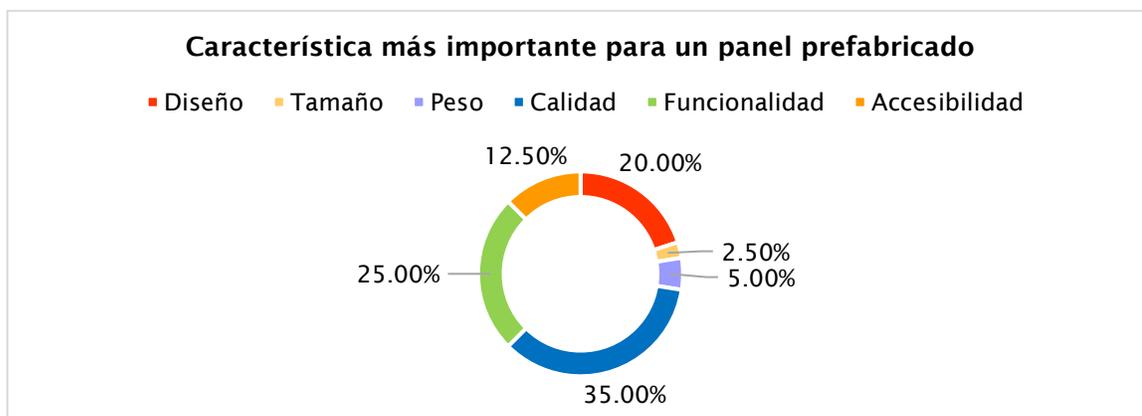
Además, con el fin de elegir el panel que se va a elaborar con la mezcla de mortero estudiada, obteniendo como resultado el panel coco; así también la encuesta arrojó que una de las principales características que consideran importante para un panel prefabricado es la calidad, seguido de funcionalidad y diseño.

**Gráfica 6** *Panel a elaborar.*



*Nota.* Resultados obtenidos para la pregunta cinco de la encuesta. Si estos tres paneles prefabricados se encontraran en el mercado de la construcción ¿Cuál comprarías? Fuente: Propia (2024).

**Gráfica 5** *Característica importante.*



*Nota.* Resultados obtenidos para la pregunta siete de la encuesta. ¿Qué característica consideras importante para elegir un panel prefabricado? Fuente: Propia (2024).



## CONCLUSIONES

- El proyecto de investigación demuestra que es factible elaborar paneles autoportantes con 1% de PCC pudiendo contribuir a la industria de la construcción sostenible, dado que, se cumple con la norma N-CTM-2-01-004/2 y la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, las cuales establecen los requisitos mínimos de resistencia a compresión para morteros utilizados en la construcción.
- Mediante el estudio de caracterización de PCC se determina que este material cuenta con una capacidad de absorción de agua del 60% y con una densidad de 0.2777 g/cm<sup>3</sup>.
- De la misma manera el estudio de caracterización de la CBA determina que ésta no cuenta con una capacidad de absorción de agua considerable, dado que el resultado obtenido es de 0.2%, y cuenta con una densidad de 2.5 g/cm<sup>3</sup>.
- Se demuestra una resistencia a compresión a los 28 días de 12.37 Mpa para las probetas con 1% de PCC
- Se demuestra que un 3% de PCC aporta hasta un 27% de ligereza al panel con su consecuente pérdida de resistencia.
- Mediante la encuesta realizada se determina que el usuario prefiere el panel con diseño alusivo a un racimo de cocos, sobre aquellos con diseño alusivo al agave y a la palmera, además, se revela que las características más valoradas son la calidad, funcionalidad y diseño por encima de la accesibilidad, peso y tamaño.



## INVESTIGACIONES FUTURAS

Para investigaciones futuras se mencionan los requerimientos a tomar en cuenta:

- Para no ver afectado el fraguado del mortero, eliminar los azúcares de la fibra de cáscara de coco.
- Tener presente los procedimientos adecuados, en la elaboración de los ensayos para la obtención correcta de los resultados.
- Pesar y mezclar correctamente los materiales para una adecuada dosificación cumpliendo con las normas y procedimientos indicados.
- Comparar la resistencia de la mezcla tradicional con las elaboradas de PCC y de CBA con el fin de consolidar que ambas alternativas ofrecen un desempeño equivalente en términos de calidad y resistencia, validando su eficacia como materiales constructivos.
- Saber las características de los agregados, podría hacer posible un diseño de mezcla más específico y de este modo optimizar los recursos para renovar el rendimiento del mortero.
- Para mejorar la estabilidad y proporcionar un refuerzo adicional al panel, se recomienda la incorporación de una malla.
- Analizar el potencial uso del PCC como método de curado interno.



## ANEXOS

Tabla 17 Caracterización PCC.

CBA (g)	Agua (ml)	Agua (ml)
0.5	5	6.8
		6.7
		6.6
		6.6
		6.6
		6.5

*Nota.* Se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de caracterización. Fuente: Propia (2022).

$\rho = \text{densidad}$

$m = \text{masa}$

$V = \text{volumen}$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.5 \text{ g}}{1.8 \text{ ml}} = 0.277 \text{ gr/cm}^3$$

$V_i = \text{volumen inicial}$

$V_f = \text{volumen final}$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{V_i - V_f}{m} = \frac{6.8 - 6.5}{0.5 \text{ g}} = 0.6 = 60\%$$

Tabla 18 Caracterización de CBA.

CBA (g)	Agua (ml)	Agua (ml)
0.5	5	5.2
		5.2
		5.1
		5.1
		5.1
		5.1

*Nota.* Se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de caracterización. Fuente: Propia (2022).

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.5 \text{ g}}{0.2 \text{ ml}} = 2.5 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{V_i - V_f}{m} = \frac{5.2 - 5.1}{0.5 \text{ g}} = \frac{0.1}{0.5} = 0.2\%$$

**Tabla 19 Matriz de resultados de las probetas CP100.**

<b>Fecha de elaboración: 30/AGO/2022</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>CP100-1</b>			10 x 9.9 x 10.1	2.050	31.48	
<b>CP100-2</b>	20/SEP/2022	21	10 x 10 x 10.1	2.070	32.070	32.803
<b>CP100-3</b>			10 x 10 x 10.1	2.100	34.86	
<b>CP100-4</b>			9.9 x 10 x 10.1	2.060	31.45	
<b>CP100-5</b>	27/SEP/2022	28	10 x 10 x 10.1	2.090	22.87	27.316
<b>CP100-6</b>			10 x 10 x 10.1	2.090	27.63	
<b>CP100-7</b>			10 x 10 x 10	2.050	29.22	
<b>CP100-8</b>	25/OCT/2022	56	10.2 x 10 x 10.1	2.090	26.05	25.876
<b>CP100-9</b>			10.2 x 9.9 x 10.1	2.080	22.36	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas patrón. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 20 Matriz de resultados de las probetas CBA10.**

<b>Fecha de elaboración: 02/SEP/2022</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>CBA10-1</b>			10.1 x 10 x 10.1	2.070	22.25	
<b>CBA10-2</b>	23/SEP/2022	21	10 x 10 x 10.1	2.100	20.33	20.14
<b>CBA10-3</b>			10.1 x 10 x 10.1	2.090	17.84	
<b>CBA10-4</b>			10 x 9.9 x 10.2	2.060	16.84	
<b>CBA10-5</b>	30/SEP/2022	28	10 x 10 x 10.2	2.070	22.10	20.313
<b>CBA10-6</b>			10 x 9.9 x 10.2	2.050	22.00	
<b>CBA10-7</b>			10 x 10.1 x 10.2	2.060	23.62	
<b>CBA10-8</b>	28/OCT/2022	56	10 x 10 x 10.2	2.050	21.02	23.193
<b>CBA10-9</b>			10 x 10.1 x 10	2.040	24.94	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 10% de CBA. Fuente: Propia (2022).

Tabla 21 *Matriz de resultados de las probetas CBA20.*

<b>Fecha de elaboración: 09/SEP/2022</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>CBA20-1</b>			9.9 x 10.1 x 10.1	2.030	23.95	
<b>CBA20-2</b>	30/SEP/2022	21	10 x 9.9 x 10.1	1.990	26.03	25.986
<b>CBA20-3</b>			9.9 x 9.9 x 10.1	2.030	27.98	
<b>CBA20-4</b>			10.1 x 10 x 10.1	2.010	18.87	
<b>CBA20-5</b>	07/OCT/2022	28	10 x 10 x 10	2.000	24.01	23.726
<b>CBA20-6</b>			10 x 9.9 x 10.1	1.990	28.30	
<b>CBA20-7</b>			10.1 x 9.9 x 10.1	1.980	21.12	
<b>CBA20-8</b>	04/NOV/2022	56	10.1 x 10 x 10.2	2.010	16.94	19.976
<b>CBA20-9</b>			10 x 9.9 x 10.2	1.960	21.87	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 20% de CBA. Fuente: Propia (2022).

Tabla 22 *Matriz de resultados de las probetas CBA30.*

<b>Fecha de elaboración: 14/SEP/2022</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>CBA30-1</b>			10.1 x 10 x 10	1.900	16.20	
<b>CBA30-2</b>	05/OCT/2022	21	10 x 9.9 x 10	1.900	17.75	16.216
<b>CBA30-3</b>			10.1 x 9.9 x 10	1.910	14.70	
<b>CBA30-4</b>			10.1 x 10 x 10	1.900	16.80	
<b>CBA30-5</b>	12/OCT/2022	28	10 x 10 x 10	1.920	13.91	14.683
<b>CBA30-6</b>			10 x 9.9 x 9.9	1.890	13.34	
<b>CBA30-7</b>			10 x 10.1 x 10.1	1.780	9.58	
<b>CBA30-8</b>	09/NOV/2022	56	10 x 10 x 10.1	1.810	7.68	8.503
<b>CBA30-9</b>			10.1 x 10 x 10	1.750	8.25	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 30% de CBA. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 23** *Matriz de resultados de las probetas PCC1.*

<b>Fecha de elaboración: 29/AGO/2023</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>PCC1-1</b>			10 x 10 x 10	1.780	12.06	
<b>PCC1-2</b>	26/SEP/2023	28	10.1 x 10 x 10	1.790	12.38	12.373
<b>PCC1-3</b>			10 x 10 x 10	1.770	12.68	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 1% de PCC. Fuente: Propia (2023).

**Tabla 24** *Matriz de resultados de las probetas PCC2.*

<b>Fecha de elaboración: 17/AGO/2023</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>PCC2-1</b>			9.9 x 10 x 10	1.670	11.19	
<b>PCC2-2</b>	14/SEP/2023	28	10 x 10.1 x 10	1.670	10.99	11.05
<b>PCC2-3</b>			9.9 x 10 x 10	1.650	10.97	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 2% de PCC. Fuente: Propia (2023).

**Tabla 25** *Matriz de resultados de las probetas PCC3.*

<b>Fecha de elaboración: 22/AGO/2023</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión (Mpa)</b>	<b>Promedio (Mpa)</b>
<b>PCC3-1</b>			9.8 X 9.9 X 10	1.500	5.89	
<b>PCC3-2</b>	19/SEP/2023	28	9.8 x 10 X 10	1.500	5.76	5.736
<b>PCC3-3</b>			9.8 x 10 x 10	1.500	5.56	

*Nota.* En la tabla se dan a conocer todos los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas con contenido de 3% de PCC. Fuente: Propia (2023).



## REFERENCIAS

- Alcántara, Á. (2017). Así es como creció el jugoso negocio del coco en México. El financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/asi-es-como-crecio-el-jugoso-negocio-del-coco-en-mexico/>
- Alonso, S. & Rigal, L. (1997). Caracterización y valoración del bagazo de agave tequilana Weber de la industria del tequila. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 3 (2), 31-39. <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/revista/articulos/rchshIII786.pdf>
- Alves, O., Sefti de Liz, R. & Makishima, N. (2002). Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola [Fibra de cáscara de coco verde como sustrato agrícola]. *Hortic Brasil*, 20 (4). <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000400003>
- American Concrete Institute Committee 544 (1998). State of the Art on Fiber Reinforced Concrete [Estado del arte en concreto reforzado con fibra], *ACI Manual of Concrete Practice, Part 5*, 544.1R-1 - 544.1R-66.
- Bahurudeen A., Senthilkumar R., Chinnu S., & Minnu S. (2022). Influence of palm oil fuel ash in concrete and a systematic comparison with widely accepted fly ash and slag: A step towards sustainable reuse of agro-waste ashes [Influencia de las cenizas combustibles de aceite de palma en el concreto y una comparación sistemática con las cenizas volantes y escorias ampliamente aceptadas: Un paso hacia la reutilización sostenible de las cenizas de residuos agrícolas]. *Cleaner Materials*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100122>
- Bautista, J. & Mascha, A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la región del mezcal de Oaxaca. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (1), 5-20. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263123192001.pdf>
- Cedeño, C. (1995). Tequila production [Producción de tequila]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 15 (1), 1-11. <https://doi.org/10.3109/07388559509150529>

- Cervantes, M. (2002). Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. México: UNAM, Instituto de Geografía, 73, 63-66.  
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/127/120/416-1>
- Chávez, L., Flores, J., & Kharissov, B. (2010). Recycling of ash from mezcal industry: A renewable source of lime [Reciclaje de cenizas de la industria mezcalera: Una fuente renovable de cal]. *Chemosphere*, 81 (5). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.08.042>
- Comisión Nacional Forestal (2011). Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Consideraciones-tecnologicas-de-la-madera.pdf>
- Consejo Regulador del Mezcal (2015). Informe de actividades. [http://www.crm.org.mx/PDF/INF\\_ACTIVIDADES/INFORME2015.pdf](http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2015.pdf).
- Dhyani, V. & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass [Una revisión exhaustiva sobre la pirólisis de la biomasa lignocelulósica]. *Renewable Energy*, 129 (Part B), 695-716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035>
- García, A., Ordoñez, M. & Briones, M. (2004). Biodiversidad de Oaxaca. Agaváceas. Redacta, S.A. de C.V., 159-169. [https://books.google.com.mx/books?id=TQfX0cL3ieQC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q=agav%C3%A1ceas&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=TQfX0cL3ieQC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=agav%C3%A1ceas&f=false)
- García, A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 087, 14-23. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf>
- González, Y., González, O., & Nungaray, J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis*, 3. <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000314.pdf>
- González J., Ramos J., Zaldivar A., Chávez L., Magallanez R., & Burciaga O. (2015). Small addition effect of agave biomass ashes in cement mortars [Pequeño efecto de adición de cenizas de

- biomasa de agave en morteros de cemento]. *Fuel Processing Technology*, 133, 35-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.041>
- Habert G. (2013). Environmental impact of Portland cement production [Impacto ambiental de la producción de cemento portland]. *Eco-Efficient Concrete*, 3-25.  
<https://doi.org/10.1533/9780857098993.1.3>
- Hendriks, C., de Jager, D., Worrel, E., Price, L., Martin, N., Ozawa, L., & Riemer, P. (1999). Emission reduction of greenhouse gasses from the cement industry. Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies: Interlaken.
- Kishore, K. (2012). Visual inspection of concrete structure [Inspección visual de estructura de concreto]. <https://www.engineeringcivil.com/visual-inspection-of-concrete-structure.html>
- Laib, I. (2017). Diseño de investigación: uso de cáscara de coco para la reducción de la demanda energética de leña, en el sector residencial del departamento de Suchitepéquez [Tesis posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3560\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3560_IN.pdf)
- León, N. (2017). Caracterización de los productos obtenidos del proceso de pirólisis de residuos lignocelulósicos de agave y su uso como fuente de energía [Tesis posgrado, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. Repositorio institucional  
[https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1165/1/PCER\\_M\\_Tesis\\_2017\\_Uc\\_Natalia.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1165/1/PCER_M_Tesis_2017_Uc_Natalia.pdf)
- Macancela, A., & Martínez, A. (2020). Fabricación de bloques de cemento y fibra de estopa de coco y pet reciclado para la eco construcción [Tesis pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. Repositorio Digital ULVR.  
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3540?mode=full>
- Maury A. (2010). Construcción y medio ambiente. Módulo arquitectura CUC, 9 (1), 105-114.  
<https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/119>

- Nawab, M., Ali, T., Qureshi, M., Zaid, O., Kahla, N., Sun, Y., Anwar, N., & Ajwad, A. (2023). A study on improving the performance of cement-based mortar with silica fume, metakaolin, and coconut fibers [Un estudio sobre la mejora del rendimiento de morteros a base de cemento con humo de sílice, metacaolín y fibras de coco]. *Case Studies in Construction Materials*, (19). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02480>
- Ramos, J. (2017, 31 de enero). Impacto de los residuos de la industria tequilera. Casa Sauza. <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/impacto-residuos-industria-tequilera>
- Rincón, J., Rincón, P., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A., Ortiz, A. & Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279-284.
- Rodgers, L. (2018, 17 de diciembre). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizá no conocías. BBC News Mundo <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Rojas, Á. (2015). Adición de la fibra de coco en el hormigón y su incidencia en la resistencia a compresión [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/17066/1/Tesis%20945%20-%20Rojas%20Torres%20%C3%81ngel%20Modesto.pdf>
- Romildo, D., Scrivener, K., & Ghavami, K. (2000). Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites [Durabilidad de las fibras de coco y sisal sensibles a los álcalis en compuestos de mortero de cemento]. *Cement and Concrete Composites* (22) 2, 127-143. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00039-6)
- Rosa, M., Santos, F., Montenegro, A., Abreu, F., Cinturón, D., Arrujo, F. y Noroes, E. (2001). Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola [Caracterización de polvo de cáscara de coco verde utilizado como sustrato agrícola].

Embrapa                      Comunicado                      Técnica,                      54,                      1-6.  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/423156/1/Ct054.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON). Versión 1.1. Centro de Estadística Agropecuaria. México.

Trokon, H., Timothy, N., & Joseph, T. (2022). Ductility and cracking behavior of reinforced coconut shell concrete beams incorporated with coconut shell ash [Ductilidad y comportamiento de agrietamiento de vigas de concreto armado con cáscara de coco incorporadas con ceniza de cáscara de coco]. *Results in Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100401>

Zarina, I., Abu, J., Agusril S., Mahyun, Z., Shaikh, F., & Salmia B. (2022). Utilization of coconut shell as a supplementary cementitious material in concrete [Utilización de la cáscara de coco como material cementoso suplementario en el concreto]. *Materials Today: Proceedings*, 66 (5), 2818- 2823. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.522>



## BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*. San Marcos. <https://www.udocz.com/pe/apuntes/21543/tecnologia-del-concreto-teoria-y-problemas-ing-flavio-abanto-castillo>
- Aguirre, X. & Eguiarte, L. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico [Diversidad genética, conservación y uso sustentable de *Agave cupreata* y *Agave potatorum* extraídos para la producción de mezcal en México]. *Journal of Arid Environments*, 90, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.018>
- Aguirre, M. & Mejía, R. (2013). Durability of reinforced concrete exposed to aggressive conditions [Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas]. *Materiales de Construcción*, 63 (309), 7-39. <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1270/1398>
- Baris, O. & Hulusi, O. (2004). The influence of initial water curing on the strength development of ordinary portland and pozzolanic cement concretes [Influencia del curado inicial con agua en el desarrollo de la resistencia de hormigones de cemento portland y puzolánicos ordinarios]. *Cement and Concrete Research*, 34 (1), 13-18. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00185-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00185-6)
- Bautista, N., & Arias, G. (2008). Estudio químico-bromatológico y elaboración de nectar de aguamiel de agave americana (maguey) procedente de Ayacucho. *Ciencia e Investigación*, 11 (2), 46-51. <https://doi.org/10.15381/ci.v11i2.4061>
- Calleja, J. (1982). Cenizas, cementos y hormigones con cenizas. *Materiales de Construcción*, 32 (187), 3-38. <https://doi.org/10.3989/mc.1982.v32.i187.1006>

- Características de los Materiales (2002). N-CMT-2-01-004/02. Materiales para estructuras. Materiales para mamposterías. Morteros. México. <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-01-004-02.pdf>
- Colunga, P., Zizumbo, D. & Martínez, J. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves, 229-248. México: CICY, CONACYT, CONABIO, INE. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5192.1441>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2006). México, D.F.: Redacta, S.A. de C.V, 5-70.
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2017). CONAHCYT agencia informativa. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/economia/128-en-torno-al-cocotero-se-desarrollan-industrias-de-gran-impacto>
- Fernández, L. (2009). Importancia del curado en la calidad del hormigón de recubrimiento. Parte I: Análisis teórico de los efectos del secado prematuro. Cemento Hormigón, (925), 38-47. <https://docplayer.es/25025787-En-la-calidad-del-hormigon-de-recubrimiento-de-los-efectos-del-secado-prematuro-luis-fernandez-luco-dr-ingeniero-civil.html>
- Galeana, E. (2017). Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de biomateriales que puedan sustituir a las fibras sintéticas [Tesis posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Facultad de Ingeniería. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/14100>
- Garín, L., Santilli, A. & Pejoja, E. (2012). Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: Estudio experimental. Ingeniería, 10, 109-114. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/369/437>

- Gentry, H. (1982). *Agaves of continental north america*. Univesity of Arizona Press.  
[https://books.google.com.mx/books/about/Agaves\\_of\\_Continental\\_North\\_America.html?id=SCqGyWNpRHwC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/Agaves_of_Continental_North_America.html?id=SCqGyWNpRHwC&redir_esc=y)
- Granados, D., & López, G. (2002). Manejo de la palma de coco (cocos nucifera L.) en México. *Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8 (1), 39-48.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980105>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill/ Internamericana editores S.A. de C.V.
- Iñiguez, G., Lange S., & Rowell R. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fireboard production [Aprovechamiento de subproductos de la industria del tequila: Parte 1: Bagazo de agave como materia prima para alimentación animal y producción de tableros de fibra]. *Bioresource Technology*, 77 (1), 25-32. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00137-1)
- Koberg, D. & Bagnall, J. (1972). *The universal traveller: a companion for those on problem-solving journeys and a soft-systems guide book to the process of design*. W. Kaufmann.  
<https://books.google.com.mx/books?id=122wNAAACAAJ>
- Khairallah, R. (2009). *Analysis of Autogenous and Drying Shrinkage of Concrete* [ Análisis de la retracción autógena y por secado del hormigón]. [Tesis posgrado, McMaster University].  
<https://macsphere.mcmaster.ca/handle/11375/9421>
- Lainez, W., & Villacis, S. (2015). *Hormigón liviano con desecho de coco como sustituto parcial de agregado grueso* [Tesis pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2266>
- Lea, F. (1970). *The Chemistry of Cement and Concrete*. Edward Arnold Ltd. London.
- Lizano, M. (2005). *Guía técnica del cultivo de coco*.  
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/7370>

- Lidan, F., Zijian, Z., Yongqiang, Y., Peitao, L., Tom, C. (2017). Effect of elevated curing temperature on ceramsite concrete performance [Efecto de la temperatura de curado elevada en el rendimiento del hormigón de ceramsite]. *Construction and Building Materials*, 153, 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.050>
- López M., & Castro J. (2010). Effect of natural pozzolans on porosity and pore connectivity of concrete with time [Efecto de las puzolanas naturales sobre la porosidad y la conectividad de los poros del concreto con el tiempo]. *Ingeniería de Construcción*, 25 (3), 419-431. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000300006>
- Martínez de las Marías, P. (1976). *Química y física de las fibras textiles*. Alhambra, S.A.
- Mayoral, A. (2022). Efecto de sustitución parcial de cemento portland por cenizas de bagazo de agave en morteros evaluados a compresión como alternativa de uso en la industria de la construcción [Tesis pregrado, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. Repositorio Institucional UTM. [http://jupiter.utm.mx/~bibliote/resultados\\_dig.php?folio=14466&rconsulta=datos&cadena=Vermas](http://jupiter.utm.mx/~bibliote/resultados_dig.php?folio=14466&rconsulta=datos&cadena=Vermas)
- Méndez, R. (2008). Determinación de la reactividad puzolánica de adiciones minerales de origen natural con el cemento Portland [Tesis posgrado, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Dspace. [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER\\_CIIDIROAX/69](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/69)
- Muñoz, R. (2017). Estudio comparativo de concreto elaborado con puzolana natural y concreto con cementos puzolánicos atlas en la ciudad de Huancayo [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4103/Mu%C3%B1oz%20Solano.pdf?sequence=1>
- Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Asocreto. <https://es.scribd.com/doc/234779446/Tecnologia-Del-Concreto-Tomo-1>

- Novoa, M. (2005). Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento [Tesis posgrado, Universidad de Colima]. Repositorio UCOL. <http://bvirtual.ucol.mx/consultaxcategoria.php?categoria=3&id=5945>
- Paricaguán, B., & Muñoz, J. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Ingeniería UC*, 26 (2), 202-212. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70760276009>
- Pérez, E., Chávez, M., & González, J. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Colombiana de Biotecnología*, 18 (1). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
- Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, N., & Subramanian C. (2020). Fibre reinforced concrete containing waste coconut Shell aggregate, fly ash and polypropylene fibre [Concreto reforzado con fibra que contiene residuos de áridos de cáscara de coco, cenizas volantes y fibra de polipropileno]. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, (94). <https://doi.org/10.17533/10.17533/udea.redin.20190403>
- Quintero, S., & González L. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, 20, 134-150. <https://www.redalyc.org/pdf/852/85202010.pdf>
- Rodríguez, O. (2003). *Morteros, guía general*. AFAM. <https://es.scribd.com/doc/131837196/Afam-Morteros-Guia-General-01-2006>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editors LTDA. <https://www.ingenieriayconstruccioncolombia.com/descargas/>
- Sánchez, J. (2010). Paneles prefabricados de hotmigón en fachadas [Tesis posgrado, Universidad Politécnica de Madrid]. *Archivo Digital UPM*. <https://oa.upm.es/4518/>
- Society for Experimental Biology (2016). Coconuts could inspire new desings for earthquake-proof buildings [Los cocos podrían inspirar nuevos diseños para edificios a prueba de terremotos]. *Science Daily*. <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/07/160705203145.htm>

- Spiegel, R., & Meadows, D. (1999). Green buildings materials. A guide of product selection and specification [Materiales de construcción ecológicos. Una guía para la selección y especificación de productos]. John Wiley and Sons.
- Sika (s.f.). Concreto reforzado con fibras. Sika Colombia. <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/7bef35eb-d2bb-3ea4-b51f-b5bc3c99b1e2/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>
- Soto E. (2003). El cultivo del cocotero, producción e importancia. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.038677>
- Stulz, R., Mukerji, K. (1993) Materiales de construcción apropiados: Catálogo de soluciones potenciales revisada edición ampliado. IT Publications. <https://docplayer.es/53087587-Materiales-de-construccion-apropiados.html>
- Torres, I., Blancas, J., León, A., & Casas, A. (2015). TEK, local perceptions of risk, and diversity of management practices of agave inaequidens in Michoacán, Mexico [TEK, percepciones locales de riesgo y diversidad de prácticas de manejo de agave inaequidens en Michoacán, México]. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11 (61). <http://doi.org/10.1186/s13002-015-0043-1>
- Ubani, O. (2023). Difference between Autogenous and Drying Shrinkage of Concrete [Diferencia entre la contracción autógena y la contracción por secado del hormigón]. <https://structville.com/2020/02/difference-between-autogenous-and-drying-shrinkage-of-concrete.html>
- Vélez, A. (2016). Influence of autogenous shrinkage on mass transport properties of concrete [Influencia de la contracción autógena en las propiedades de transporte masivo del concreto]. *Maskana*, 7 (1), 123-132. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25184>